



UNIVERSITAT^{DE}
BARCELONA

**Control de la altura *patellar*
y la pendiente tibial posterior al realizar una
osteotomía valguizante de apertura proximal.
Estudio anatómico y clínico**

Juan Ignacio Erquicia



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0. Spain License.**



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Control de la altura *patellar* y la pendiente
tibial posterior al realizar una osteotomía
valguizante de apertura proximal
Estudio anatómico y clínico

Tesis Doctoral

Juan Ignacio Erquicia

Barcelona, 2023



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Control de la altura *patellar* y la pendiente
tibial posterior al realizar una osteotomía
valguizante de apertura proximal
Estudio anatómico y clínico

Memoria de tesis doctoral presentada por Juan Ignacio Erquicia
para optar al grado de Doctor por la Universidad de Barcelona

Directores

Prof. Andreu Combalía Aleu

Prof. Joan Carles Monllau García

Tutor

Prof. Andreu Combalía Aleu

Programa de Doctorado en Medicina e Investigación Traslacional
Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad de Barcelona
Instituto Catalán de Traumatología y Medicina del Deporte (ICATME)
Hospital Universitario Quirón Dexeus

Barcelona, 2023

A mis padres

Al Prof. Joan Carles Monllau García

AGRADECIMIENTOS

Al Prof. Joan Carles Monllau García, por sus enseñanzas y apoyo durante tantos años. Por transmitirme aquello de buscar siempre, tanto a nivel clínico, quirúrgico y científico, un mejor resultado. En realidad, pienso que al referirse uno a su padre profesional, todo agradecimiento termina siendo insuficiente.

Al Prof. Andreu Combalía Aleu, por su gentil aceptación a la dirección de esta tesis.

Al Dr. Joan Leal Blanquet, jefe, compañero y amigo, por el depósito de toda su confianza en mí persona. Por darme el soporte y estímulo final para llevar adelante este ilusionante proyecto.

A los Dres. Marc Tey, Xavier Pelfort y Pablo Gelber, por enseñarme a operar la rodilla, pero fundamentalmente, por incorporarme a una sistemática de trabajo en equipo que no pudo ser mejor. Y con los años, a todos los miembros de Equilae, que han transformado aquel equipo, en una gran familia.

A ICATME, directivos, administrativos y colegas, por abrirme las puertas. Siempre me sentiré parte de esa casa.

Al Hospital de Igualada y todo su Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología. A Sergi Gil, compañero y amigo, muchas gracias.

A la Xarxa Assistencial Universitària de Manresa, Althaia, por el soporte en este proyecto y la oportunidad de desarrollo profesional.

A la Universidad Austral, por su método. Por enseñarme a escuchar, pensar y razonar en la búsqueda de lo mejor para el paciente. A la "Camada 2002", por hacer de aquellos años la mejor de las etapas. Al Dr. Manuel Mendizábal "Cala" y su familia, muchas gracias.

Al Hospital Francés, sitio donde crecí y me formé como especialista. A los adjuntos y compañeros de residencia, por las enseñanzas de aquellos años. Un especial agradecimiento al Dr. Javier Del Vecchio, por mostrarme que un camino diferente era posible.

Al Dr. Alberto Cid Casteulani, por cobijar a un grupo de cirujanos jóvenes y darnos las herramientas para el crecimiento profesional que estábamos necesitando. Gracias Alberto, por tu amistad y estar siempre presente.

A "SMG", a todas las hermanas y hermanos que afortunadamente, la vida me ha ido dando.

A mis padres, que me han dado todo sin pedirme nada. A mis hermanas, por su amor y paciencia. A toda la familia Erquicia y Andreani por haberme transmitido lo más importante, los valores. Gracias Binky y Titucha.

Y finalmente, a Lize y Sofie, por vuestro amor, risas y complicidad. Esta tesis es por y para ustedes.

*Ningún impedimento, pequeño o grande,
resultará de tal daño,
que haya una "tumefacción o deformidad" para el hueso que
no pueda restaurarse de forma adecuada a su situación natural.*

Hipócrates

FINANCIACIÓN

El desarrollo de esta tesis doctoral no cuenta con fuentes externas de financiación

ÍNDICE

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	XXI
1. ARTÍCULOS DE LA TESIS	1
2. RESUMEN	5
3. INTRODUCCIÓN	11
3.1 La artrosis de rodilla	13
3.2 Historia de las osteotomías	16
3.3 Alineación del miembro inferior	26
3.4 La osteotomía valguizante de apertura tibial (OVAT)	31
3.4.1 Indicaciones	31
3.4.2 Técnica quirúrgica	34
3.4.3 Protocolo de rehabilitación	39
3.4.4 Resultados.....	39
3.4.5 Complicaciones.....	40
3.5 Justificación del estudio	44
3.5.1 Artículo 1	45
3.5.2 Artículo 2.....	45
3.5.2 Artículo 3.....	45
4. HIPÓTESIS	47
5. OBJETIVOS	51
6. MATERIAL, MÉTODOS Y RESULTADOS	55
Resumen del artículo 1	57
Resumen del artículo 2	69
Resumen del artículo 3	81

7. DISCUSIÓN	91
7.1 Limitaciones y fortalezas.....	102
7.2 Perspectivas futuras.....	103
8. CONCLUSIONES	105
9. BIBLIOGRAFÍA	109

ÍNDICE DE TABLAS



Tabla 1. Criterios para identificar el paciente “ideal” para realizar una osteotomía valgizante de tibia.....	34
Tabla 2. Series recientes de OVAT con mayor seguimiento, y su tasa de supervivencia.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ángulo mecánico femorotibial o ángulo cadera-rodilla-tobillo	14
Figura 2. Línea de Mikulicz y la desviación del eje mecánico	15
Figura 3. "Hippocratic Scamnum"	17
Figura 4. "Osteotomy, with an inquiry into the aetiology and pathology of knock-knee, bow-leg, and other osseous deformities of the lower limbs", publicado por William Macewen en 1880.	18
Figura 5. Osteotomía tibial alta realizada por A. Leo Brett para el tratamiento de una deformidad sagital en recurvatum	19
Figura 6. Placa tubular curva utilizada por A. Miniaci para la fijación de las osteotomías valguizantes de cierre tibial proximal	21
Figura 7. El eje mecánico a través del platillo tibial, en el pre y post operatorio, tras una osteotomía valguizante de tibia	21
Figura 8. El método de los 3 triángulos definido por F. Noyes	24
Figura 9. Ejes mecánico y anatómico, de fémur y tibia	26
Figura 10. Centro de la articulación: cadera, rodilla y tobillo	27
Figura 11. Radiografía telemétrica de miembros inferiores	29
Figura 12. Ángulos de orientación articular, en la cadera, rodilla y tobillo	30
Figura 13. Medición de la pendiente tibial posterior según la técnica descrita por Dejour y Bonin	35
Figura 14. Medición del índice de Caton-Deschamps	36

- Figura 15.** Imagen clínica y esquema de OVAT-L, en una rodilla derecha, una vez realizado los cortes. Se mantiene la cuña de apertura en el tercio posteromedial de la tibia hasta completar la fijación de la osteotomía. 38
- Figura 16.** Control radiográfico y esquema donde se visualiza el aspecto postoperatorio tras realizar una OVAT-L. 39

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

aC	antes de Cristo
AM	anteromedial
aPPTA	<i>anatomical posterior proximal tibial angle</i>
cm	centímetros
dC	después de Cristo
DE	Desviación Estándar
HSS	<i>Hospital for Special Surgery score</i>
ICD	índice de Caton-Deschamps
IIS	índice de Insall-Salvati
IMC	índice de masa corporal
LCA	ligamento cruzado anterior
LCP	ligamento cruzado posterior
M	medial
mLDFA	<i>mechanical lateral distal femoral angle</i>
mm	milímetros
mMPTA	<i>mechanical medial proximal tibial angle</i>
OVAT	osteotomía valguizante de apertura tibial proximal
OVAT-L	osteotomía valguizante de apertura tibial proximal biplanar, en "L" invertida
PM	posteromedial
PTP	pendiente tibial posterior
PTR	prótesis total de rodilla
TAT	tuberosidad anterior de la tibia



ARTÍCULOS DE LA TESIS

1

ARTÍCULOS DE LA TESIS

1

Tesis en formato de compendio de publicaciones

La tesis consta de 4 objetivos y 3 artículos

1 Erquicia J, Gelber PE, Perelli S, Ibañez F, Ibañez M, Pelfort X, Monllau JC. *Biplane opening wedge high tibial osteotomy with a distal tuberosity osteotomy, radiological and clinical analysis with minimum follow-up of 2 years*. J Exp Orthop. 2019 Feb 28;6(1):10. doi: 10.1186/s40634-019-0176-6.

SJR 0.682, Q2

2 Erquicia JI, Gil-Gonzalez S, Ibañez M, Leal-Blanquet J, Combalia A, Monllau JC, Pelfort XP. *A lower starting point for the medial cut increases the posterior slope in opening-wedge high tibial osteotomy: cadaveric study*. J Exp Orthop. 2022 Dec 29;9(1):124. doi: 10.1186/s40634-022-00562-z

SJR 0.53 Q2

JCR ESCI Orthopaedics Q2 (56 de 128)

3 Monllau JC, Erquicia JI, Ibañez F, Ibañez M, Gelber PE, Masferrer A, Pelfort X *Open-wedge valgus high tibial osteotomy technique with inverted L-shaped configuration*. Arthrosc Tech. 2017 Nov 13;6(6):e2161-e2167. doi: 10.1016/j.eats.2017.08.009

SJR 0.749 Q2



RESUMEN

2

RESUMEN

2

Título

Control de la altura *patellar* y la pendiente tibial posterior al realizar una osteotomía valguizante de apertura proximal. Estudio anatómico y clínico

Introducción

La osteotomía valguizante tibial es un procedimiento útil para el tratamiento de la artrosis femorotibial medial sintomática asociada al genu varo. Esta intervención se puede realizar mediante una sustracción lateral (osteotomía de cierre) o por adición de una cuña medial (osteotomía de apertura). Al comparar la osteotomía tibial valguizante de apertura con la de cierre, a la primera se le reconocen ciertas ventajas, entre las que se encuentran: no tener que actuar sobre la articulación tibioperonea proximal, menor riesgo de producir una lesión neurovascular y la conservación de la morfología metafisaria de la tibia, facilitando así la realización de una futura artroplastia de rodilla.

Sin embargo, la osteotomía valguizante de apertura tibial no está exenta de complicaciones. Entre las más frecuentes y relevantes se destacan las modificaciones generadas sobre la altura *patellar* y el aumento de la pendiente tibial posterior.

Hipótesis

La realización de una osteotomía valguizante de apertura tibial proximal biplanar, en "L" invertida, permitirá corregir la deformidad en el plano axial, sin modificar la altura *patellar* ni la pendiente tibial posterior, logrando resultados clínicos satisfactorios, en pacientes con altura *patellar* normal o límite preoperatorias, o con riesgo de desarrollar una *patella* baja debido al grado de corrección planificado.

La distancia entre la interlínea articular y el punto donde se inicia la osteotomía tiene un rol significativo en la pendiente tibial posterior resultante al realizar una osteotomía valguizante de apertura tibial. Además, el sitio donde se coloca la cuña de apertura tibial tiene también relación con la pendiente tibial posterior obtenida tras la realización de esta osteotomía valguizante.

Objetivos

- Evaluar el grado de corrección obtenido en el plano axial, analizando la repercusión sobre la altura *patellar* y la pendiente tibial posterior, al realizar una osteotomía valguizante de apertura tibial proximal biplanar, en "L" invertida, como así también valorar los resultados clínicos obtenidos.
- Analizar el efecto producido sobre la pendiente tibial posterior al utilizar diferentes distancias desde la interlínea articular para comenzar la osteotomía, así como la repercusión que tiene sobre esta pendiente la modificación del sitio donde se coloca la cuña de apertura en la cortical medial de la tibia.

Material y métodos

En el estudio clínico se incluyeron pacientes operados de osteotomía valguizante de apertura tibial proximal biplanar, en "L" invertida, con un seguimiento mínimo de 24 meses. Se evaluó la alineación mecánica de la extremidad inferior, la pendiente tibial posterior, la altura y la inclinación o báscula (*tilt patellar*), tanto en el preoperatorio como en el postoperatorio inmediato, y a los 24 meses de seguimiento. Para la valoración de los resultados clínicos se utilizaron las escalas de Lysholm, *Hospital for Special Surgery* y Kujala. La aparición de dolor femorrotuliano postoperatorio y los cambios radiológicos locales también fueron evaluados.

Complementariamente se desarrolló un estudio cadavérico donde se incluyeron 12 rodillas, aleatorizadas en dos grupos, basando la división en grupos dependiendo de la distancia desde la interlínea articular donde comenzaba la osteotomía: 3 y 4 centímetros. Se calculó radiográficamente la pendiente tibial posterior antes de realizar la intervención. Una vez realizada la osteotomía, la cortical medial de la tibia fue dividida en tres tercios: anteromedial, medial y

posteromedial. Se colocó una cuña de apertura de 10° secuencialmente en cada tercio, y se valoró radiográficamente el efecto sobre la pendiente tibial posterior según la localización de la cuña en cada uno de los tercios.

Resultados

En el estudio clínico se incluyeron 23 pacientes intervenidos de osteotomía valguizante de apertura tibial proximal biplanar, en "L" invertida, con un seguimiento medio de 33 meses (rango 27-41). El eje mecánico de la extremidad inferior cambió de $9.3^\circ \pm 2.5$ de genu varo preoperatorio a una media de $0.2^\circ \pm 2.2$ de valgo postoperatorio. No se produjeron cambios significativos ni en la altura, ni en la inclinación *patellar* como tampoco en la pendiente tibial posterior. Las escalas de Lysholm y *Hospital for Special Surgery* mejoraron de 68.3 ± 9.1 y 64.2 ± 5.2 en el preoperatorio a 93.2 ± 2.1 y 94.1 ± 3.6 respectivamente, al final del seguimiento ($p < 0.01$). En la escala de Kujala se obtuvo una mejoría desde 67.3 ± 9.8 a 86.4 ± 7.6 al final del seguimiento ($p < 0.01$). Respecto a la articulación femorrotuliana, no se observaron cambios clínicos ni radiológicos.

En el estudio cadavérico, cuando la osteotomía comenzó a 3 centímetros de la interlínea articular, sólo se observaron cambios significativos en caso de que la cuña de apertura se hubiera colocado en el tercio anteromedial de la tibia ($p = 0.02$). En cambio, en el grupo donde la osteotomía se inició a 4 centímetros de la interlínea articular, se obtuvieron cambios significativos cuando la cuña de apertura se colocó tanto en el tercio medial ($p = 0.04$) como en el anteromedial ($p = 0.012$) de la tibia.

Conclusiones

La realización de una osteotomía valguizante de apertura tibial proximal, en "L" invertida, incluyendo la tuberosidad anterior de la tibia en el fragmento proximal de la osteotomía permite corregir de manera efectiva la deformidad axial de la extremidad, sin generar cambios sobre la articulación femorrotuliana ni en la pendiente tibial posterior, además de mejorar la función de la rodilla en el seguimiento a corto plazo. Tanto los resultados radiográficos como la mejoría clínica experimentada por los pacientes tras la realización de esta técnica apoyan la utilización de la misma en el tratamiento de las rodillas con genu varo sintomático, en pacientes adultos jóvenes, con una altura *patellar* normal o al límite preoperatoria o en aquellos que, debido al grado de corrección planificada, presentan riesgos de desarrollar una *patella* baja.

En el modelo cadavérico se comprobó que es posible evitar, de manera efectiva, las modificaciones de la pendiente tibial posterior al realizar una osteotomía valguizante de apertura tibial. Esto se logra controlando la distancia desde la interlínea articular hasta el punto donde comienza la osteotomía, y colocando la cuña de apertura en el tercio posteromedial de la tibia.



INTRODUCCIÓN

3

INTRODUCCIÓN

3

3.1 La artrosis de rodilla

La artrosis es una enfermedad degenerativa que afecta el cartílago articular y el hueso subcondral de cualquier articulación sinovial. Cuando afecta a la rodilla, se denomina también gonartrosis, es causa común de dolor crónico, afectación de la marcha y limitación funcional.¹

Existen factores predisponentes, no modificables, para el desarrollo de la gonartrosis como son: la edad, la herencia genética, el sexo femenino, las enfermedades inflamatorias articulares, etc. Otros factores predisponentes podrían ser clasificados como modificables, aquí se incluyen: la obesidad, antecedentes de traumatismos o fracturas (fémur, tibia o rótula), meniscopatías, lesiones ligamentarias y microtraumatismos repetitivos (deporte, actividad laboral, etc). Finalmente, y clasificándolo como factor mecánico predisponente (donde podrían incluirse algunos de los anteriores), se incluyen los defectos de alineación de la extremidad. Estos generan una distribución de cargas anormal a través de la rodilla favoreciendo el deterioro del cartílago articular y la aparición de la gonartrosis.¹

Prevalencia

La prevalencia de la gonartrosis aumenta con la edad. Es insignificante entre los 25 y 34 años, afecta al 30% de los mayores de 45, y después de los 65 años el 70% de las personas presenta signos radiológicos compatibles con esta enfermedad. Hasta los 45 años afecta mayoritariamente a los hombres, invirtiéndose esta relación de manera progresiva hasta llegar a una proporción mujer/hombre entre 1.5:1 y 2:1, en los mayores de 65 años. Del total de los pacientes que tienen cambios radiológicos, menos del 40% presentan síntomas.² Los cambios

que aparecen con frecuencia en las radiografías son: la esclerosis subcondral, osteofitos, quistes óseos subcondrales y estrechamiento del espacio articular.

En 1963, Kellgren y Lawrence utilizaron esos signos radiológicos para clasificar el grado de enfermedad articular en 5 estadios, de 0 a 4, definiendo como enfermedad degenerativa moderada/avanzada cuando se correspondía a un grado 3 o mayor.³ Posteriormente se introdujeron los criterios de Ahlbäck, siendo también 5, donde se relacionó el estadio de la enfermedad con el estrechamiento del espacio articular y el grado de erosión ósea.⁴ El desarrollo de estas escalas aportó claridad en la interpretación del proceso degenerativo y soportan la toma de decisiones hasta la actualidad a la hora de considerar la realización de una cirugía de realineación de la extremidad inferior.

Alineación mecánica y línea de Mikulicz

Uno de los factores principales para el desarrollo y avance de la gonartrosis es la alineación mecánica de la rodilla, definida por el ángulo cadera-rodilla-tobillo o ángulo mecánico femorotibial.⁵ Este ángulo se establece en una radiografía telemétrica de miembros inferiores (técnica descrita con detalle en el apartado 3.3) y es el resultante de una línea que va desde el centro de la cabeza del fémur al centro de la rodilla (eje mecánico del fémur) y otra que va del centro de la rodilla al centro del tobillo (eje mecánico de la tibia) (Figura 1).

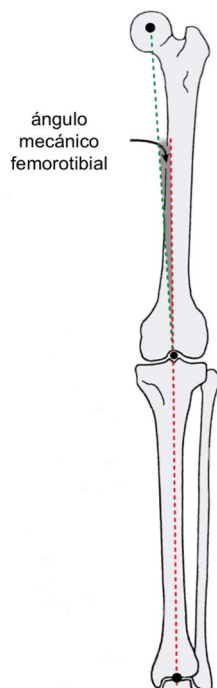


Figura 1. Ángulo mecánico femorotibial o ángulo cadera-rodilla-tobillo. ⁶

Imagen utilizada con permiso del Editor.

Se considera una alineación mecánica neutra cuando la unión de estos 3 puntos (cadera-rodilla-tobillo) da como resultado una línea recta, 180° . Es sólo en este escenario, cuando el eje mecánico femorotibial coincide con la línea de Mikulicz o línea de carga del peso, que es la línea que resulta de unir el centro de la cabeza del fémur con el centro del tobillo.⁵

Cuando el eje mecánico femorotibial da un valor inferior a 180° se denomina genu varo, y la línea de Mikulicz y, por lo tanto, la carga axial del peso, pasa por el compartimento medial de la rodilla. Cuando el ángulo es mayor a 180° se denomina genu valgo, y la línea de Mikulicz pasa por el compartimento lateral de la rodilla.

Cabe destacar que, en la media de una población sana, esta línea pasa apenas medial al centro de la rodilla siendo el ángulo mecánico femorotibial de $1.3 \pm 2^\circ$ de varo (0.8° en la mujer y 1.9° en el hombre), aproximadamente. Es decir que, la línea de Mikulicz pasa habitualmente medial al centro de la rodilla. Se conoce como desviación del eje mecánico (DEM) a la distancia entre la línea del eje mecánico y el centro de la rodilla, considerándose normal entre 4 y 8 milímetros (mm), valores que varían según diferentes series publicadas^{5,7} (Figura 2).

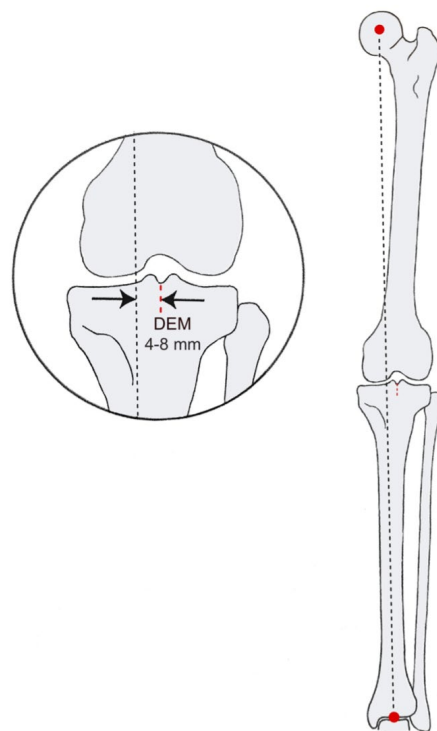


Figura 2. Línea de Mikulicz y la desviación del eje mecánico. ⁶

Imagen utilizada con permiso del Editor.

Debe evitarse la confusión con el ángulo femorotibial anatómico que corresponde habitualmente a 6° de valgo.⁷

La alineación y la gonartrosis

La alineación en varo o valgo aumenta el riesgo de desarrollar artrosis a nivel medial o lateral, respectivamente, ya que el aumento de carga en el compartimento predispone al daño condral y meniscal, generando un escenario idóneo para la aparición, y posteriormente progresión de la enfermedad degenerativa.⁸ De la misma manera, pero en el orden inverso, las lesiones condrales o meniscales predisponen a la desviación de la carga axial hacia el compartimento afectado debido a una mayor limitación a soportar las fuerzas impuestas sobre este compartimento.⁹ Es decir, una persona con una lesión meniscal medial tendrá una predisposición mayor a desarrollar un genu varo que aquella persona que no la ha sufrido. Además, esta predisposición será aún mayor si el punto de partida previo a la lesión meniscal medial era ya una alineación en varo.⁸

También existe conocimiento de la relación entre el grado de degeneración articular y la progresión de la desalineación. La probabilidad de progresión de la deformidad a corto plazo (18 meses) es 4 veces mayor para aquellas rodillas con un estadio grado 2 de la escala de Kellgren-Lawrence, y 10 veces mayor cuando el punto de partida se sitúa en un grado 3. En resumen, a mayor estado de degeneración articular existe mayor probabilidad de progresión de la deformidad.⁹

De todo lo anterior se puede concluir que la desalineación en genu varo o genu valgo, actuando como causa o consecuencia, tiene un papel determinante en el desarrollo de la enfermedad articular degenerativa.

Es aquí donde, el rol de la osteotomía en la corrección de la mala alineación cobra importancia, fundamentalmente en estadios sintomáticos y precoces de la gonartrosis femorotibial unicompartmental.

3.2 Historia de las osteotomías

El concepto de osteotomía, como método utilizado para el tratamiento de las deformidades de las extremidades, existe desde hace más de 2.000 años. Su origen etimológico (*osteo* = hueso, *tomia* = corte) hace referencia a la acción de modificar o corregir la alineación de un hueso.

La historia

Es en un papiro egipcio cercano al año 1600 antes de Cristo (aC), donde se encontró la primera referencia respecto a la importancia de la alineación para prevenir una futura deformidad, mencionando tres casos de fracturas de húmero.¹⁰ Más tarde, en "*De Fracturis*" (415 aC), incluido dentro de los Tratados Hipocráticos, se describe la realización de una "nueva" fractura para

mejorar la alineación de un húmero previamente fracturado.¹⁰ El mismo Hipócrates desarrolló el "*Hippocratic Scamnum*" o banco hipocrático, utilizado como dispositivo para ejercer tracción y favorecer la alineación de los huesos durante el proceso de curación tras una fractura (Figura 3).¹¹ Durante los tiempos de romanos y griegos, entre los siglos V aC – II después de Cristo (dC), médicos como Celso y Galeno avanzaron en el tratamiento de las fracturas, utilizando diferentes técnicas de reducción apoyándose en la utilización del "*Hippocratic Scamnum*".¹²



Figura 3. "*Hippocratic Scamnum*".¹¹

Imagen utilizada con permiso al Editor.

Sin embargo, recién en el siglo XVI dC toma fuerza la idea de realizar una fractura cerrada para alinear una deformidad, apareciendo el término osteoclasis, del griego *osteo* = hueso, *klasis* = romper.¹³

Los avances fueron lentos durante los tres siglos siguientes debido a la falta de conocimiento sobre los principios biológicos, el rudimentario material y la pobre asepsia.

Se atribuye a John Rhea Barton (1794-1871), de Pennsylvania, EEUU, la primera osteotomía realizada alrededor de la rodilla para el tratamiento de una anquilosis. Se trataba de una osteotomía femoral supracondílea de apertura que Barton realizó en 1835.¹⁴

Años más tarde, y basándose en su experiencia en la guerra de Schleswig-Holstein en Alemania (1848-1850), Langenbeck describió su experiencia en la realización de osteotomías abiertas,

utilizadas también para el tratamiento del raquitismo y la anquilosis.¹⁵ Debido a la falta de asepsia y a los grandes abordajes utilizados, tuvo una elevada tasa de infecciones.

Las complicaciones infecciosas disminuyeron en Alemania de la mano de cirujanos como Billroth, Mayer y Volkmann, pioneros en la utilización de materiales específicamente diseñados para estas intervenciones.¹⁶ Contemporáneamente, en el continente americano, el Prof. Pancoast describía la utilización de *gimlets* para realizar múltiples perforaciones en el fémur, de manera subcutánea, previamente a la aplicación de una fuerza correctora para completar la osteotomía.¹⁷

En 1880 Macewen publicó el que se conoce como el primer libro dedicado íntegramente a la osteotomía,¹⁸ difundiendo la técnica y haciendo hincapié en la importancia del material específico y las condiciones de asepsia (Figura 4).

Esto condujo a un aumento de popularidad en la utilización de esta técnica para la corrección de deformidades.¹⁶ Así y todo, los problemas de consolidación ósea y rigidez eran frecuentes, atribuidos a la falta de estabilidad en la zona de la osteotomía y la utilización de yesos tras el procedimiento.

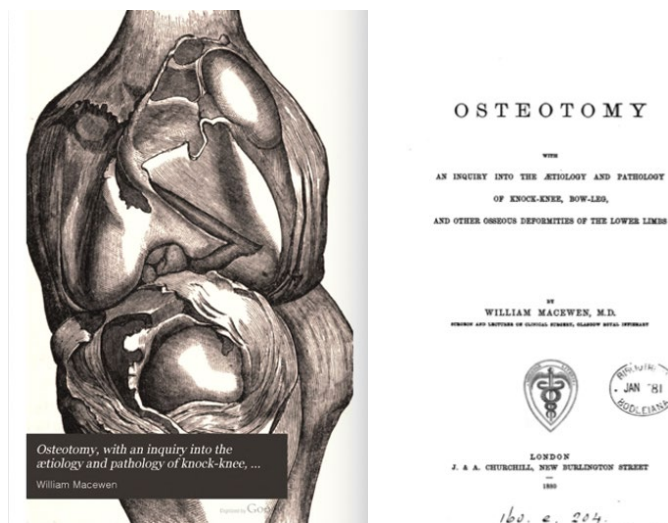


Figura 4. "Osteotomy, with an inquiry into the aetiology and pathology of knock-knee, bow-leg, and other osseous deformities of the lower limbs", publicado por William Macewen en 1880.¹⁸ Es reconocido como el primer libro dedicado por completo a la osteotomía.

Imagen tomada de internet. Wellcome collection.

Años más tarde, en 1934, Brett llevó a cabo la primera osteotomía de tibia proximal, realizando una cuña de apertura incompleta anteroposterior para el tratamiento de un genu recurvatum¹⁹ (Figura 5).

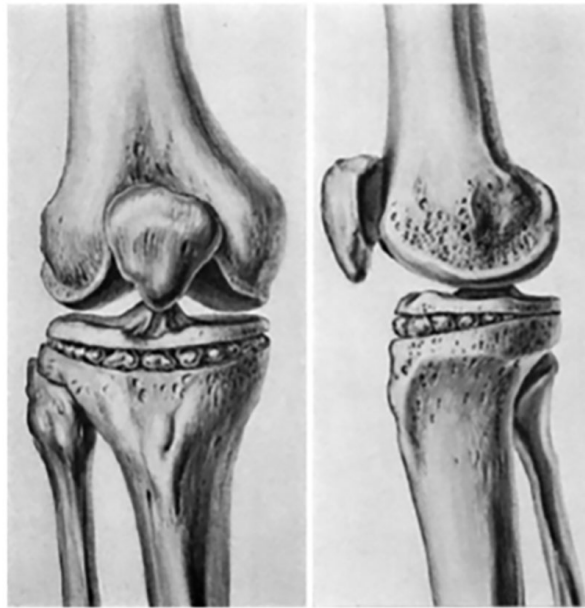


Figura 5. Osteotomía tibial alta realizada por A. Leo Brett para el tratamiento de una deformidad sagital en recurvatum.¹⁹

Imagen utilizada con permiso del Editor.

Puede resumirse que hasta esa fecha:

- Existía una gran variabilidad entre las primeras técnicas descritas, utilizándose material rudimentario.
- Se presentaron resultados dispares, con elevado número de complicaciones, como infecciones, rigideces y pérdida de corrección.

Fue a mediados del siglo XX cuando comenzó a implementarse la osteotomía en el Reino Unido para el tratamiento del genu valgo en niños, sin respuesta a los tratamientos no quirúrgicos, y en adultos con artrosis unicompartimental lateral.²⁰

Wardle, paralelamente con Sir Robert Jones, describió la realización de una osteotomía valguzante de tibia proximal infratuberositaria, utilizada inicialmente para el tratamiento del raquitismo, y afirmaba que producía un "alivio completo del dolor en todos los pacientes, con un bajo número de complicaciones".²¹ Atribuía estos resultados no sólo a la corrección axial, sino a la reducción de la presión venosa intramedular producida por la osteotomía misma.²¹

Al mismo tiempo Ilizarov, en Rusia, presentaba sus resultados tras la utilización de la fijación externa en artrodesis, corrección de deformidades y tratamiento de fracturas.²²

Surgimiento de los métodos de estabilización

En 1964 se establece el concepto de dilatar el proceso de degeneración articular de la rodilla a través de la realización de una osteotomía tibial proximal. El cirujano canadiense Garipey fue quien describió una osteotomía valguzante supratuberositaria de tibia, de cierre proximal, utilizando un *clamp* para estabilizarla, con buenos resultados, aunque con un número de casos afectos de retardo de consolidación.²³ Coventry, de la Clínica Mayo en Estados Unidos, adoptó la técnica descrita por Garipey y decidió fijarla con una o dos grapas para permitir la carga y movilidad precoz.²⁴ Se publicaron inicialmente resultados satisfactorios con esta técnica, más allá de ciertas complicaciones respecto a la movilidad que sufrían estas grapas en el postoperatorio.²⁴

Avanzados los años 70 y debido a la falta de uniformidad en la indicación, la ejecución de la técnica quirúrgica y los diferentes protocolos postoperatorios utilizados, comenzaron a aparecer resultados dispares, según las series publicadas, y aumentaron significativamente el número y tipo de complicaciones reportadas, como fueron la pérdida de la corrección, pseudoartrosis, infecciones y parálisis del nervio peroneo común.^{25,26}

Fue entonces, con el florecer de la artroplastia de rodilla y unos resultados iniciales alentadores, que la osteotomía perdió popularidad. Gracias a la perseverancia de algunos cirujanos creyentes y defensores de la técnica, se refinaron las indicaciones, mejoró la ejecución de la misma y se avanzó en el desarrollo de los dispositivos de fijación utilizados. Esto permitió a Coventry afirmar por aquellos días algo que perdura a día de hoy: *"El reciente surgimiento de las artroplastias de rodilla cambiará la indicación de las osteotomías, aunque, en un paciente joven, con artrosis unicompartimental sintomática, la osteotomía seguirá siendo la indicación ideal"*.²⁷

El ángulo de corrección ideal

Los siguientes años no fueron en vano. Surgieron los primeros implantes específicamente diseñados para la fijación de la osteotomía valguzante de cierre proximal ²⁸ pero, fundamentalmente, cambió el concepto que se tenía sobre la osteotomía: la idea inicial de quitar el dolor recuperando el eje anatómico de la extremidad evolucionó hacia la idea de utilizar una planificación radiográfica más exhaustiva para lograr corregir (o hiper corregir) el eje mecánico de la extremidad (Figura 6).

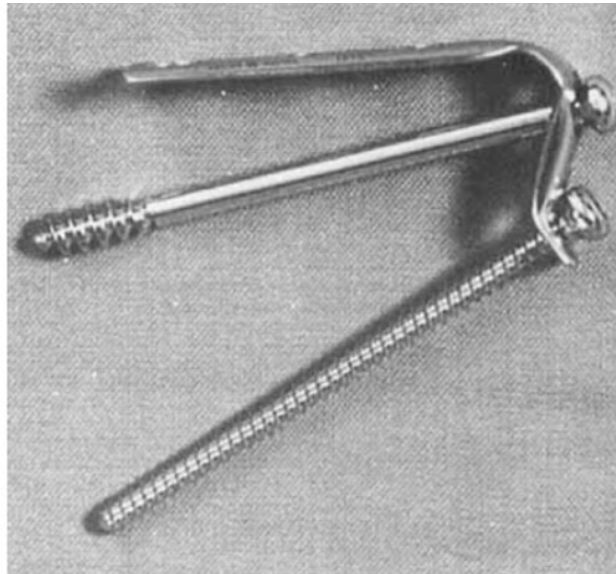


Figura 6. Placa tubular curva utilizada por A. Miniaci para la fijación de las osteotomías valguizantes de cierre tibial proximal.²⁸

Imagen utilizada con permiso del Editor.

Los aportes introducidos por Fujisawa en 1979 se mantuvieron durante más de 3 décadas. En un trabajo retrospectivo, 2 años después de realizar una osteotomía valguizante de tibia proximal, el autor observó que la superficie condral previamente ulcerada había mejorado cuando la osteotomía cumplía ciertos requisitos. Así se estableció el llamado "punto de Fujisawa", distancia correspondiente al 62% de la longitud medio-lateral de la tibia proximal, medida desde medial, por donde debía pasar el eje mecánico de la extremidad una vez realizada la osteotomía^{29,30,31} (Figura 7).

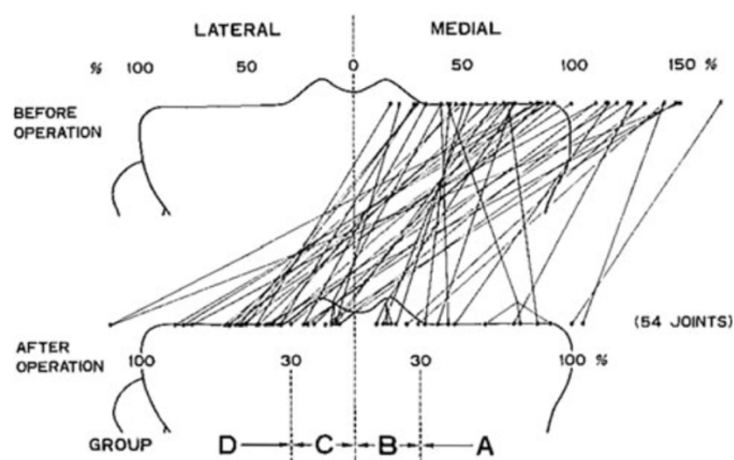


Figura 7. El eje mecánico a través del platillo tibial, en el pre y post operatorio, tras una osteotomía valguizante de tibia.²⁹

Imagen utilizada con permiso del Editor.

Durante los años posteriores el centro de atención giró en torno a los grados de hiper corrección necesaria para lograr una mejoría efectiva y duradera de los síntomas mediales, sin generar afectación del compartimento lateral. Valores entre 3° y 8° de valgo mecánico postoperatorio fueron los elegidos por diversos autores,^{32,33,34} considerando inaceptable una corrección del eje mecánico por debajo del normoeje, lo cual se relacionaba de manera directa con fallos precoces del procedimiento.

La sobrevida (supervivencia) de la osteotomía

Los primeros resultados analizados a largo plazo no aparecieron hasta finales de los ´70s. Ranieri y col. publicaron de manera retrospectiva el análisis de 187 rodillas, en un estudio realizado en el Instituto Rizzoli de Italia, y aunque sólo 41 de estos pacientes habían sido examinados a 10-12 años de la intervención, 36 (87.8%) no tenían dolor y los autores concluían que los resultados obtenidos a los 6 meses de la intervención se mantenían de forma “permanente”.³⁵ Durante los años ´90s y primeros años de la década ´00, continuó la publicación de series uniformes, con seguimiento a largo plazo, que se centraban también en la mayor supervivencia de la técnica, favorecido por el avance en los sistemas de fijación y una mejor planificación preoperatoria.^{36,37,38}

La técnica de cierre versus la de apertura

Del análisis de las osteotomías valguzantes de cierre proximal realizadas hasta esos años, aparecían la dificultad para lograr el grado de corrección deseado, los reportes de síndrome compartimental y las lesiones del nervio peroneo común, como las desventajas o complicaciones más frecuentes.^{39,40} Además, los acortamientos del tendón rotuliano y la deformidad generada sobre la metáfisis tibial hacían que la conversión a una futura prótesis total de rodilla (PTR) fuera más compleja.⁴¹

Es en este escenario, a finales de los años ´90s, cuando surgió la utilización del fijador externo para abrir, de manera progresiva y mediante hemicallostasis, una cuña de apertura medial en la tibia.⁴² Las ventajas de este procedimiento incluían una cirugía más simple, con menor agresión a los tejidos blandos y que no generaba deformidad metafisaria en la tibia. Además, no se asociaba al desarrollo de *patella* baja y no afectaba al nervio peroneo común.⁴¹ Sin embargo, el procedimiento requería de una elevada colaboración por parte del paciente y se lo vinculaba con un considerable riesgo de infección en el trayecto de los pines. En un estudio aleatorizado que incluyó 50 pacientes, se comparó la técnica de cierre lateral con la de apertura medial a los 2 años postoperatorios, observándose que con ambas técnicas se lograba una mejoría en todas las puntuaciones revisadas, sin encontrar diferencias significativas

entre ellas.⁴³ Los autores evidenciaron que con la técnica de hemicallostasis se lograba una corrección más precisa y predecible, con menor porcentaje de pérdida de corrección en el primer año postoperatorio. Esto podía atribuirse a una reducción de la influencia ligamentaria en el resultado de la corrección lograda, debido a que la distracción se realizaba de manera progresiva con el fijador.⁴⁴

La evolución de la planificación preoperatoria

Quedaba claramente establecido que una planificación preoperatoria exhaustiva era clave en el procedimiento de la osteotomía en sí, ya que definir el ángulo de corrección ideal permitiría conservar la función articular a largo plazo.^{38,6} Inicialmente, previo a la aparición de la radiografía, la necesidad de corrección y el sitio donde realizar la misma eran juzgados "a ojo".¹⁸ Incluso, una vez introducida la radiografía, esta se limitaba a imágenes focalizadas en la rodilla, sin estudiar la alineación de la extremidad ni la localización de la deformidad.^{45,46} El uso de la telegoniometría radiográfica revolucionó tanto la identificación de la deformidad preoperatoria como el análisis de la corrección postoperatoria.²⁵

Miniaci y cols. publicaron un método de planificación preoperatoria para la osteotomía de cierre proximal utilizando no solo telemetría sino pruebas radiográficas forzadas en varo y valgo.²⁸ En ellas definían la posición de la bisagra en la cortical medial junto con la corrección deseada del eje mecánico de la rodilla, acorde a lo establecido por Fujisawa y cols.²⁹ De esta manera podían definir el ángulo de corrección necesario y, utilizando los datos aportados por Hernigou y cols,³⁹ el ángulo en cuestión se convertía en mm en la cortical lateral de la tibia para definir así la cuña de resección necesaria. Dugdale y cols. desarrollaron un algoritmo basado también en radiografías telemétricas que amplió el campo de conocimiento sobre el tamaño de cuña requerido para lograr la corrección deseada.³¹

Años más tarde, en el 2005, Noyes y cols. definieron el método de los tres triángulos, que permitía corregir el eje mecánico de la extremidad manteniendo la pendiente tibial posterior (PTP) al realizar una osteotomía valguizante de apertura tibial proximal (OVAT). Esto lo lograban estableciendo el defecto (*gap*) de apertura requerido, adaptado al grado de corrección, según las dimensiones de la tibia.⁴⁷ (Figura 8).

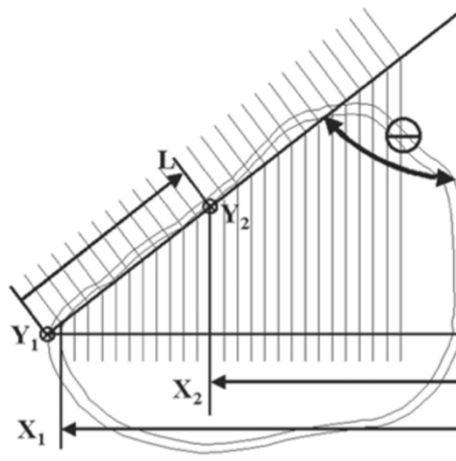


Figura 8. El método de los 3 triángulos definido por F. Noyes establece el tamaño del *gap* vertical en función del tamaño de la tibia al nivel donde se realiza la osteotomía (L), el ángulo oblicuo que se genera entre la cortical lateral y la anteromedial de la tibia ($^{\circ}$), y la distancia desde el eje de la bisagra en la cortical lateral de la tibia hacia la cuña de apertura (X_1 , X_2).⁴⁷

Imagen utilizada con permiso del Editor.

Sin lugar a dudas, la definición del Centro de Rotación de la Angulación (CORA) realizado por Dror Paley, en Baltimore, Estados Unidos, marcó un progreso considerable. Este concepto permitió identificar con precisión el sitio, magnitud y dirección de la corrección requerida para una deformidad específica.⁶ Hasta ese momento, la doctrina imperante marcaba que las deformidades en varo debían corregirse en la tibia proximal, mientras que los valgus requerían una corrección en el fémur distal, sin tener en cuenta el sitio donde se originaba la deformidad. Con la aparición de los conceptos aportados por Paley, se entendió que el incumplimiento de estos principios podía llevar a realizar la corrección en el hueso incorrecto y como consecuencia, generar una nueva deformidad a expensas de una oblicuidad de la interlínea articular, asociando esto a un fracaso precoz del procedimiento.⁶

Más recientemente, la planificación preoperatoria con tomografía computada, la navegación asistida y la utilización de sistemas de guías 3D han demostrado tener éxito en la exactitud y la precisión de la corrección lograda, aunque aún no se ha establecido la superioridad de estas técnicas respecto a las técnicas convencionales.^{48,49}

Los años modernos (2000 al presente) y el auge de la OVAT

En las últimas décadas se han ponderado los beneficios de la OVAT en comparación con las de cierre, vinculado en parte a la evolución en los dispositivos de fijación interna.⁵⁰ Dentro de las ventajas adjudicadas a esta técnica pueden mencionarse: la precisión en el grado de

corrección obtenido (fácilmente modificable intraoperatoriamente), el hecho de no actuar sobre el peroné ni la musculatura extensora y preservar la anatomía de la tibia proximal, facilitando así la colocación de una posible PTR en el futuro.^{51,52,53}

La popularidad de la OVAT había estado limitada durante años a la “necesidad” de rellenar el sitio de la osteotomía con injerto de hueso, para evitar así la pseudoartrosis y/o pérdida progresiva de la corrección. Para esto era necesario obtener injerto autólogo de cresta ilíaca, lo cual se relacionaba con un aumento significativo de la morbilidad, especialmente, en la zona donante. En la búsqueda de alternativas para el relleno del defecto óseo creado, surgieron sustitutos alternativos como las cuñas de cemento, aunque tuvieron poco éxito.⁵⁴ La placa de Puddu, desarrollada en estos años, llevaba incorporado un “espaciador” para aportar estabilidad adicional al foco de osteotomía. Sin embargo, un estudio retrospectivo que analizó los fallos en pacientes intervenidos de OVAT y sintetizados con esta placa, hallaron que sólo el 63% de casos mostraban signos de consolidación al año de la intervención y reportaron un 45.8% de complicaciones, incluyendo fallos del material de osteosíntesis, fracturas e infecciones, por lo que los autores concluían que la OVAT era un procedimiento técnicamente demandante, y propenso a complicaciones, particularmente cuando se realizaban correcciones amplias.⁵⁵

Estudios posteriores, con resultados similares,⁵⁶ motivaron a diferentes autores a aumentar el grado de fijación tras realizar una OVAT. A tal efecto se investigaron, por una parte el uso de placas de osteosíntesis más sólidas y, por otra, la utilización de aloinjertos o de biomateriales para mejorar la osteogénesis sin causar morbilidad en la zona donante. De esta manera, se obtuvo una mejoría significativa en la velocidad de consolidación y una disminución del índice de pseudoartrosis.^{54,57-59}

Continuando en la búsqueda de mejorar la estabilidad lograda tras realizar una OVAT se han desarrollado placas bloqueadas de compresión que ofrecen ventajas significativas en relación a la estabilidad respecto a los dispositivos utilizados previamente, permitiendo inclusive en determinados casos, evitar la sustitución ósea.^{58,59} Sin embargo, cabe mencionar que se han reportado hasta un 40% de molestias locales debido a las características de estos implantes y su implantación en la cara anteromedial en la tibia.⁶⁰

La evolución de los implantes de osteosíntesis y la utilización de métodos de aumentación biológica, han disminuido las tasas de retardo de consolidación y pseudoartrosis que se han equiparado con las reportadas para las osteotomías valguizantes de cierre lateral^{53,61}. Así y todo, cabe destacar que más allá de la utilización de dispositivos fijación más modernos y de rellenar el espacio de la osteotomía con aloinjertos o biomateriales, los pacientes fumadores y/u obesos presentan un mayor índice de pseudoartrosis después de una OVAT.⁶¹⁻⁶³

3.3 Alineación del miembro inferior

Para establecer los parámetros de normalidad en la alineación de la extremidad inferior deben tenerse en cuenta las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo, prestando especial atención a la anatomía del fémur y la tibia. Con objeto de simplificar la comprensión de la alineación y orientación articular resulta útil el trazado de líneas.

Eje anatómico y mecánico

Como el resto de huesos largos, el fémur y la tibia tienen un eje anatómico y otro mecánico. El eje anatómico es la línea que se proyecta por el centro de la diáfisis. Puede ser recto en el plano frontal y curvo en el plano sagital, como sucede en el fémur. El eje mecánico es una línea que conecta el centro de dos articulaciones, siendo siempre recta, tanto en el plano frontal como en el sagital⁶ (Figura 9).

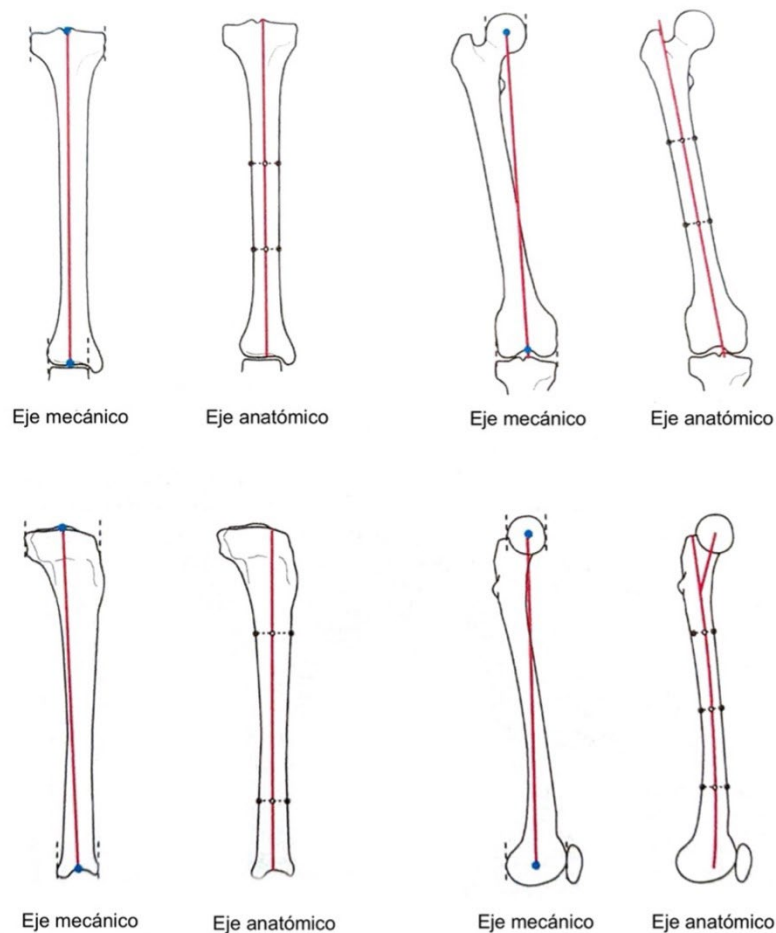


Figura 9. Ejes mecánico y anatómico, de fémur y tibia.⁶

Imagen utilizada con permiso del Editor.

Centro de la articulación

Debido a que el eje mecánico se considera fundamentalmente en el plano frontal, el centro de la articulación se define también en el plano frontal. En 1987, Moreland y cols. estudiaron el centro de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo,⁷ estableciendo que:

- El centro de la cabeza femoral coincidía con el de la articulación de la cadera.
- Las mínimas diferencias existentes entre utilizar el punto más proximal del intercóndilo femoral o el centro de las espinas tibiales hacen que cualquiera de esos dos puntos pueda utilizarse correctamente como el centro de la articulación de la rodilla.
- Con el tobillo sucede algo similar a la rodilla, pudiendo utilizarse sin diferencias relevantes el punto intermedio de la distancia medio-lateral del astrágalo o el centro del pilón tibial, medido desde la superficie articular medial del maléolo peroneal y la superficie articular lateral del maléolo tibial (Figura 10).

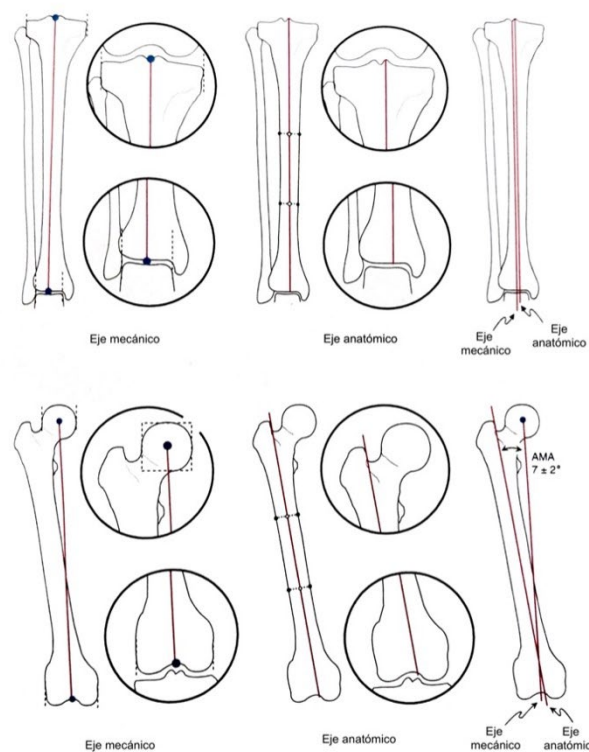


Figura 10. Centro de la articulación: cadera, rodilla y tobillo.⁶

Imagen utilizada con permiso del Editor.

Orientación de la línea articular

- Se considera que la línea de orientación de la cadera en el plano frontal es una línea que va desde el extremo proximal del trocánter mayor hasta el centro de la cabeza femoral.
- En el plano frontal, la línea que define la orientación de la línea articular del fémur distal es la resultante de unir los dos puntos más distales que se identifican sobre la superficie articular convexa de ambos cóndilos femorales. Respecto a la línea articular de la tibia proximal, la misma está dada por la unión de los dos puntos más profundos localizados sobre la superficie articular de ambos platillos tibiales.

En el plano sagital, debido a que el fémur distal es circular, la orientación de la línea articular puede trazarse uniendo los dos puntos donde los cóndilos femorales se unen a la metáfisis del fémur. La línea de Blumensaat puede ser utilizada de manera alternativa. Respecto a la tibia, la línea articular se establece siguiendo el límite subcondral de ambos platillos tibiales.

- En el tobillo, esta línea se define en el plano frontal, de manera indistinta, siguiendo la superficie articular distal de la tibia o una línea que pasa por la cúpula del astrágalo, a nivel subcondral. En el plano sagital, la línea de orientación articular se traza uniendo los puntos más distales del margen anterior y posterior de la tibia.

Ángulos de orientación articular

Las diferentes líneas articulares, tanto en el plano frontal como sagital, tienen una orientación específica respecto a los ejes mecánicos y anatómicos. Los ángulos resultantes entre estas líneas y los ejes mencionados han recibido diversa nomenclatura con el pasar de los años.⁶⁴⁻⁶⁶ En la actualidad, existe la tendencia a utilizar la nomenclatura propuesta por Paley y cols. debido a su fácil interpretación y posibilidad de memorización.⁶⁷

En la citada nomenclatura, se especifica si el eje de referencia es el anatómico (a) o el mecánico (m). El ángulo (A) se puede medir en el lado lateral (L), medial (M), anterior (A) o posterior (P) respecto al eje en cuestión. También hace referencia a si es proximal (P) o distal (D) en el fémur (F) o la tibia (T). Así, por ejemplo, el ángulo mecánico lateral distal del fémur (*mechanical lateral distal femoral angle = mL DFA*) es el formado entre el eje mecánico del fémur y la línea articular del fémur en el plano frontal. De manera similar, el ángulo mecánico medial proximal de la tibia (*mechanical medial proximal tibial angle = m MP TA*) es el formado entre el eje mecánico de la tibia y la línea articular de la tibia en el plano frontal. Para el plano sagital sucede lo mismo, por ejemplo, el ángulo anatómico posterior proximal de la tibia (*anatomical posterior proximal tibial angle = a P P TA*) es el ángulo formado entre el eje anatómico de la tibia y la línea articular en el plano sagital.

Eje mecánico de la extremidad inferior

Existen dos consideraciones que deben tomarse en cuenta cuando se evalúa la extremidad inferior en el plano frontal: la alineación y la orientación articular.^{68,69} Alineación se refiere a la co-linealidad entre cadera, rodilla y tobillo. Para evaluarla es necesaria una radiografía telemétrica de miembros inferiores, en bipedestación, dando prioridad al centrado de las rótulas entre los cóndilos femorales, independientemente de la rotación de los pies. El tubo de rayos X debe posicionarse a una distancia de 10 pies (305 centímetros), centrado en la articulación de la rodilla. Siguiendo este formato, la magnificación suele ser del 5% ⁶ (Figura 11).

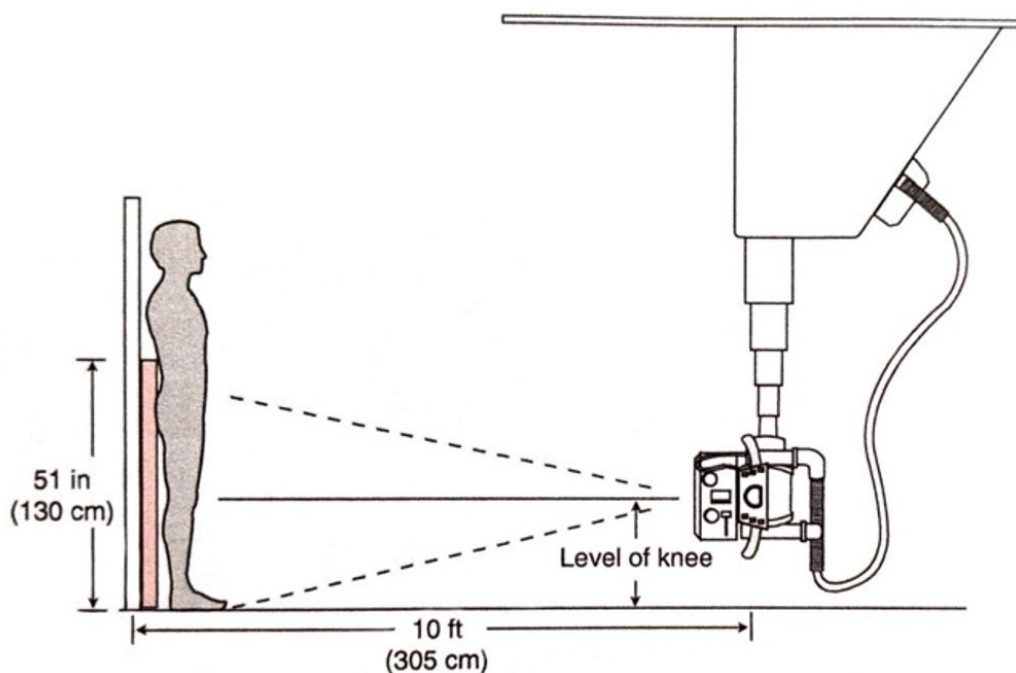


Figura 11. Radiografía telemétrica de miembros inferiores.⁶

Imagen utilizada con permiso del Editor.

Orientación articular

Al hablar de orientación, se hace referencia a la posición de cada superficie articular respecto a los ejes de cada segmento óseo (fémur y tibia). Para evaluar cada uno de estos ángulos es también necesaria una telemetría de miembros inferiores, de iguales características a la que fue descrita anteriormente (Figura 12).

Se consideran valores normales:

- Cadera

mLPFA 90° (85-95) ⁶⁷⁻⁶⁹

- Rodilla

mLDFA 88° (85-90) ⁶⁷

mMPTA 87° (85-90) ⁶⁷

aPPTA 81° (77-84) ⁶⁷

- Tobillo

mLDTA 89° (86-92) ⁶⁷

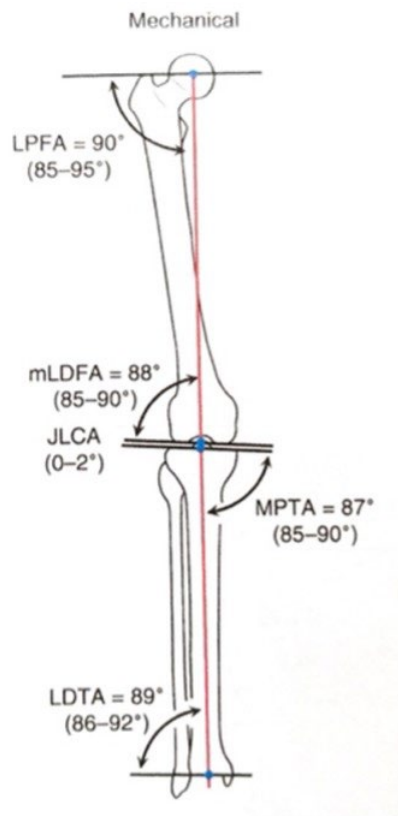


Figura 12. Ángulos de orientación articular, en la cadera, rodilla y tobillo.⁶

Imagen utilizada con permiso del Editor.

3.4 La osteotomía valguizante de apertura tibial (OVAT)

3.4.1 Indicaciones

La indicación ideal para realizar una OVAT sería en un paciente adulto-joven, sin obesidad, con genu varo y dolor en el compartimento femorotibial medial, sin artropatía avanzada. Con una rodilla estable y un rango de movilidad normal, pero limitado para sus actividades de la vida diaria.

A la hora de informar al paciente sobre los pros y contras de este procedimiento, el paciente debe entender y aceptar que el alivio del dolor puede ser incompleto y no permanente. También debe ser consciente que la alineación de la extremidad cambiará, pudiendo ir acompañada de una ligera modificación en la longitud de la misma.

- **Edad y género**

La edad podría jugar un papel importante en los resultados obtenidos al realizar una osteotomía de rodilla, aunque el nivel de evidencia existente en la actualidad no permite ser concluyente al respecto. Se podría afirmar que los pacientes más jóvenes tienen mejores resultados y una mayor tasa de supervivencia tras la intervención, pero no es posible definir un punto de corte exacto entre los 40 y 65 años. Diversos estudios mencionan resultados funcionales superiores en pacientes menores de 50 años, a corto⁷⁰ y largo plazo.⁷¹ En una serie de publicación reciente, se han registrado más efectos adversos (OR 4.1), mayor estancia hospitalaria (OR 4.1) y superior número de reingresos (OR 2.1) en pacientes mayores de 45 años.⁷² Según la evidencia existente, a pesar de que la edad parece jugar un papel importante en los resultados de una osteotomía alrededor de la rodilla, no debería considerarse una contraindicación para indicar dicha cirugía. Howells y cols. demostraron resultados funcionales superiores en los pacientes mayores de 55 años, aunque con una mayor tasa de conversión a la artroplastia.⁷³ De manera contradictoria, Bouguennec y cols. establecieron el umbral para el fracaso (definido como: progresión de la artrosis, dolor persistente y/o conversión a la artroplastia) en los 54 años.⁷¹

La influencia del género en los resultados de las osteotomías de rodilla sigue sin estar clara. Algunos autores relacionan el sexo femenino con mayor estancia hospitalaria y mayores problemas relacionados con la consolidación de la osteotomía. No obstante, la mayor parte de la literatura revisada no demostró diferencias entre sexos respecto a la tasa de conversión a PTR.⁷⁴⁻⁷⁶

- **Nivel de actividad**

El nivel de actividad física que refiera el paciente y las expectativas respecto a la cirugía son, probablemente, más determinantes que la edad a la hora de elegir entre la realización de una osteotomía o una artroplastia de rodilla, ya sea unicompartmental o total, sobre todo cuando se encuentra entre los 50 y 60 años de edad. Conocer el nivel de actividad ayuda a identificar aquellos pacientes en los cuales se desaconseja la colocación de una PTR, más allá que por edad sea una indicación razonable. Un nivel de actividad muy elevado tendría efectos adversos potenciales en la durabilidad del implante. En resumen, el nivel de actividad preoperatorio es el mejor factor pronóstico del nivel de actividad postoperatorio.⁷⁷

- **Grado de artrosis**

El grado de desgaste del cartílago también se correlaciona con los resultados de las osteotomías de rodilla. La OVAT está indicada idealmente en pacientes con un estadio de Ahlbäck I-II del compartimento medial,⁴ dado que un grado ³ 3 está relacionado con una supervivencia inferior.^{74,78} Los pacientes intervenidos con lesiones condrales de alto grado (p. e. Outerbridge 3-4) se asocian sistemáticamente a peores resultados funcionales.⁷⁰

La presencia de signos degenerativos en los otros compartimentos de la rodilla, fundamentalmente en la articulación femorrotuliana, no es una contraindicación para la realización de una OVAT, siempre y cuando esta no sea sintomática y el paciente no tenga una *patella* baja.⁷⁹

- **Peso / índice de masa corporal (IMC)**

De acuerdo con la literatura existente, la obesidad es el principal factor de riesgo en la evolución de una osteotomía de rodilla. Aunque el punto de corte establecido varía de un estudio a otro, la mayoría utiliza un IMC > 30 como valor de referencia. Mayores efectos adversos y peores resultados funcionales se han documentado por encima de ese valor.^{72,80}

Evaluando la tasa de conversión de osteotomía a PTR, las mayores tasas se han registrado con IMC > 25⁷¹ y > 30.⁸¹

- **Rango de movilidad articular**

Respecto a la movilidad, es recomendable un rango de flexión de 120°, aunque según las series publicadas, podría bajar el punto de corte hasta los 100°.

En cambio, un déficit de extensión de 5° se establece como una contraindicación para realizar el procedimiento, debido a que existe una relación directa con malos resultados.⁸²

- **Estabilidad**

La realización de una OVAT en el contexto de una rodilla inestable se ha vinculado también con malos resultados postoperatorios.⁸³

Además, al realizar una OVAT existe la tendencia a modificar la pendiente tibial posterior, dependiendo de cómo se lleve a cabo la técnica quirúrgica. Estas posibles modificaciones en la PTP tienen un impacto directo sobre la estabilidad anteroposterior de la rodilla. Es por esto indispensable la evaluación preoperatoria de la extremidad no sólo en el plano coronal sino también en el plano sagital.⁸⁴

En función de la estabilidad de la rodilla, se han descrito tres tipos de genu varo:

- Varo primario: sin apertura lateral. No vinculado a lesión ligamentosa.
- Doble varo: genu varo asociado a apertura femorotibial lateral. Por deficiencia/atenuación de las estructuras ligamentosas laterales (ligamento colateral lateral, cápsula posterolateral).
- Triple varo: genu varo + aumento rotación tibial externa + recurvatum. Fallo de todo el complejo ligamentoso posterolateral.

En los casos de doble o triple varo, algunos autores aconsejan tratar en conjunto la inestabilidad y la deformidad para un correcto resultado.⁸³

- **Otras articulaciones**

Es requisito para realizar una osteotomía en la rodilla contar con una cadera homolateral normal. Una debilidad en los músculos abductores de la cadera y una limitación en su movilidad articular tienen un efecto perjudicial en la rodilla osteotomizada,⁸⁵ por lo que se recomienda corregirlos antes. A su vez, debido a que el paciente intervenido de una osteotomía precisará un período prolongado de apoyo parcial (carga protegida), es indispensable comprobar también el estado de la extremidad contralateral y el de las extremidades superiores.

A modo de resumen, en la siguiente tabla se presentan los criterios que ayudarían a encontrar el paciente "ideal", al cual indicarle una osteotomía debido a un dolor femorotibial medial asociado a genu varo (Tabla 1).

Edad	< 60 años
Nivel de actividad	Activo
Grado de artrosis	Ahlbäck I-II (también femorrotuliana, no sintomática) No <i>patella</i> baja
IMC	< 30
Rango de movilidad articular	Sin déficit extensión/>110° flexión
Estabilidad	Rodilla estable (o estabilización simultánea)
Otras articulaciones	No artrosis de cadera homolateral Posibilidad de tolerar carga parcial con muletas

Tabla 1. Criterios para identificar el paciente “ideal” para realizar una osteotomía valguizante de tibia

3.4.2 Técnica quirúrgica

Planificación preoperatoria

Se recomienda la realización de un protocolo radiográfico que incluya:

- **Telegoniometría de miembros inferiores**, en bipedestación,⁸⁶ para determinar el eje de la extremidad y el grado de corrección deseado. Se busca obtener un eje mecánico alrededor del punto de Fujisawa,⁸⁷ ajustado según cada caso.
- **Proyección de Schuss o Rosenberg**, para evaluar signos precoces de desgaste articular, evaluando el espacio articular en carga y semiflexión de 45°.⁸⁸
- **Radiografía lateral de la rodilla**, sin carga de peso, a 30° de flexión. En esta radiografía se calcula el aPPTA.^{67,89} La diferencia entre 90° y el aPPTA da como resultado la PTP.^{90,91} (Figura 13).

En esta misma radiografía se mide la altura *patellar* según el índice de Caton-Deschamps (ICD).⁹² Este fue descrito por primera vez en 1976 por J. Caton y en la actualidad lleva el nombre de los autores que realizaron su modificación definitiva en 1982.



Figura 13. Medición de la pendiente tibial posterior según la técnica descrita por Dejour y Bonin.⁹¹

Imagen propiedad del autor.

En los artículos que forman parte de esta tesis se ha optado por utilizar este índice debido a que se basa en referencias anatómicas fácilmente identificables y reproducibles, siendo posible su medición independientemente de la calidad de la radiografía, del tamaño de la rodilla, de la posición de la tuberosidad anterior de la tibia (TAT) y con un arco de flexión entre 10° y 80°.⁹²

El método consiste en medir, en una radiografía lateral, la distancia desde el límite inferior de la superficie articular de la *patella* hasta el ángulo anterosuperior de la tibia, y dividirla por la longitud de la superficie articular de la rótula. La relación entre ambas es normalmente = 1 (0.96 ± 0.13 en hombres y 0.99 ± 0.12 en mujeres). Cuando el valor es > 1.2 se define como *patella* supera o alta y cuando es < 0.6 como *patella* infera o baja (Figura 14).

En la serie presentada en esta tesis, con valores de ICD entre 0.6-1 se realizó una osteotomía valguizante de apertura tibial proximal biplanar, en "L" invertida (OVAT-L). Con valores de ICD > 1 se decidió realizar una OVAT, pero en aquellos casos donde el ICD era 1-1.2, pero se planificaba realizar una corrección $> 10^\circ$, también se realizó una OVAT-L.



Figura 14. Medición del índice de Caton-Deschamps.⁹²

Imagen propiedad del autor

- Se realiza una radiografía axial a 45° de flexión, o proyección de Merchant, que se utiliza para calcular la inclinación o báscula lateral de la rótula y valorar la existencia o no de signos degenerativos en la articulación femorrotuliana.⁹³

Revisión artroscópica

Aunque aumenta el tiempo quirúrgico y no es imprescindible, la artroscopia permite confirmar bajo visualización directa el estado del cartílago articular del compartimento femorotibial lateral, documentar la gravedad de los signos degenerativos femorrotulianos (a pesar de la ausencia de síntomas), y tratar simultáneamente eventuales lesiones meniscales, condrales y ligamentarias.⁹⁴

Técnica quirúrgica.

- **Abordaje**

Se coloca el paciente en decúbito supino, con un torniquete de isquemia proximal, y la rodilla flexionada 90°, con un soporte lateral en el muslo y uno distal en el pie. Una vez finalizada la revisión artroscópica, se realiza una incisión longitudinal de 6-7 centímetros (cm), en la cara medial alta de la pierna, a media distancia entre la TAT y el borde posteromedial de la tibia. Una vez disecado el tejido celular subcutáneo e identificados los

tendones de la pata de ganso, estos se inciden longitudinalmente en un solo plano, a nivel del margen anterior de su inserción distal en la tibia. Seguidamente, el ligamento colateral medial se disecciona en bloque con un periostotomo hacia posterior y se coloca un separador de Hohmann, que se sitúa en la cortical posterior de la tibia. Se visualiza y disecciona el borde medial del tendón rotuliano y se protege también con un separador.

- **Osteotomía**

Se identifica la zona de transición metafiso-diafisaria, y se coloca una aguja de Kirschner guía de 2.4 mm bajo control fluoroscópico, en dirección medio-lateral, dirigida hacia el extremo proximal de la cabeza del peroné, es decir, posterolateral. La punta de la aguja se localiza 1.5 cm distales a la interlínea articular y 1 cm medial a la cortical lateral de la tibia. Siguiendo la aguja y bajo control del intensificador de imágenes, se inicia la osteotomía manteniendo la perpendicularidad con el eje sagital de la tibia. Inicialmente se utiliza la sierra oscilante para continuar con escoplos calibrados que permiten controlar la profundidad del corte en todo momento. Se trabaja específicamente en la zona de la cortical posterior de la tibia, conservando un cm de hueso de la cortical lateral para que actúe como bisagra.⁹⁵ Una vez creado el plano de corte y comprobada su flexibilidad, se introducen cuñas de tamaño progresivo en el tercio posteromedial de la tibia hasta lograr la apertura planificada, buscando la creación de un *gap* trapezoidal que minimice el riesgo de generar modificaciones en la PTP.⁹⁶ La osteotomía se fija mediante una placa específica, con tornillos proximales y distales a la misma. En la actualidad existen sistemas de fijación que combinan tornillos de estabilidad angular proximales con la opción de tornillos corticales distales que permiten una mejor adaptación de la placa al hueso. Una vez completada la fijación se retira la cuña de apertura y el defecto creado es rellenado con aloinjerto o autoinjerto de cresta ilíaca, según preferencia del cirujano. Se retira el separador de Hohmann posterior, el ligamento colateral medial se desliza sobre la placa de osteotomía y los tendones de la pata de ganso se reinsertan a su origen. Se utiliza un drenaje profundo, en el plano de la osteotomía, se libera el torniquete para comprobar el estado vascular y realizar hemostasia, y se cierra por planos la herida quirúrgica.

Cuando se planifica una OVAT-L, la técnica quirúrgica presenta determinadas diferencias:

- Se recomienda realizar el abordaje quirúrgico ligeramente más cercano a la tuberosidad anterior de la tibia, para permitir un mejor acceso a la misma.
- La osteotomía presenta dos planos. Un plano horizontal, que sigue los mismos parámetros que en la OVAT, y un plano vertical, que discurre posterior a la tuberosidad anterior de la tibia.
- Una vez colocada la aguja guía siguiendo las mismas referencias mencionadas anteriormente para la OVAT, se marca con electrobisturí en la cortical medial de la

tibia los diferentes planos de corte a realizar. Una vez realizado el corte horizontal, se realiza un corte vertical que se extiende 3-4 cm hacia distal, manteniendo la TAT unida al segmento proximal de la epífisis tibial, por encima de la osteotomía. El segmento óseo que incluye la TAT debe mantener 10 mm de grosor en la parte proximal para minimizar el riesgo de fractura (Figura 15).

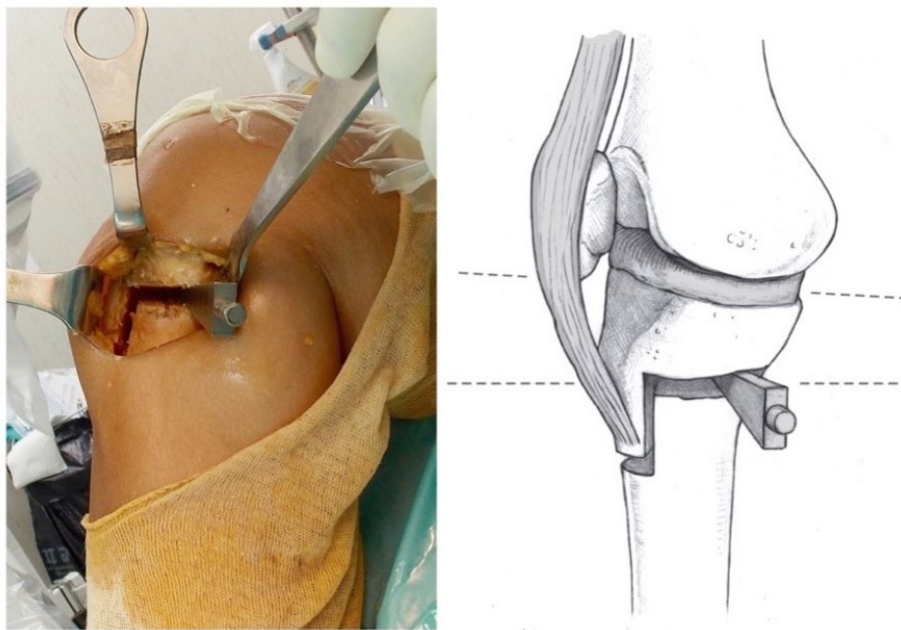


Figura 15. Imagen clínica y esquema de OVAT-L, en una rodilla derecha, una vez realizado los cortes. Se mantiene la cuña de apertura en el tercio posteromedial de la tibia hasta completar la fijación de la osteotomía.

Imagen propiedad del autor.

Luego de introducida la cuña de apertura deseada en el tercio posteromedial de la tibia y manteniendo la misma allí, se coloca un tornillo cortical anteroposterior de 3.5 mm que fija la TAT al segmento distal de la osteotomía, previo a la colocación de la placa. Una vez realizada la fijación mediante placa y tornillos, es decisión del cirujano si quitar o no el tornillo anteroposterior para evitar molestias en la zona anterior de la rodilla (Figura 16).



Figura 16. Control radiográfico y esquema donde se visualiza el aspecto postoperatorio tras realizar una OVAT-L.

Imagen propiedad del autor.

3.4.3 Protocolo de rehabilitación

Al paciente se le indica comenzar con ejercicios isométricos de cuádriceps y de flexo extensión pasiva de rodilla sin restricción, según tolerancia. Durante las primeras 2 semanas se autoriza la carga de peso de manera propioceptiva, con la utilización de dos muletas. Posteriormente se autoriza la carga parcial progresiva de la extremidad, autorizándose la carga completa a partir de la sexta semana postoperatoria. Los tiempos se adaptan a la necesidad/capacidad/tolerancia de cada paciente, teniendo relevancia la recuperación del trofismo muscular y la capacidad de lograr una marcha normal, sin muletas.

3.4.4 Resultados

Aunque los resultados clínicos obtenidos tras realizar una OVAT no son homogéneos, si pueden obtenerse algunas conclusiones de las series publicadas.⁹⁷⁻¹⁰²

- La mayoría de las publicaciones reportan una satisfacción del paciente superior al 85%.
- La tasa de supervivencia a 10 años es, en la mayoría de las series, superior al 80%, entendiéndose como fallo la necesidad de realizar un procedimiento protésico.
- Las series más antiguas, con seguimiento prolongado, se decantan en su mayoría por osteotomías valguizantes de cierre proximal. En cambio, más recientemente, han aumentado significativamente el número de publicaciones de series de OVAT con seguimiento a largo

plazo, lo que sugiere un cambio de tendencia en el tipo de procedimiento elegido en las últimas décadas.

- Existe un elevado consenso entre los diferentes autores en que los mejores resultados se dan en pacientes menores de 60 años, con un grado de artrosis femorotibial medial con Ahlbäck menor de II, en deformidades inferiores a 12° y con un balance articular superior a 100°.

A continuación, se presenta un resumen de la literatura reciente referida a OVAT con mayor seguimiento, con especial referencia a la tasa de supervivencia (Tabla 2).

Autor	Año	n	Seguimiento medio (años) (rango)	Supervivencia (conversión a PTR)
Guarino	2023	247	11.6 (6-17)	75% 17 años 91% 10 años
Cazor	2023	96	13.3 (10-19)	59% 15 años
Duivenvoorden	2017	112	7.4	90% 10 años
Hernigou	2001	245	10 (6-15)	68% 15 años 85% 10 años
Quan	2021	67	12 (9-15)	87% 10 años
Schallberger	2011	54	16 (13-21)	71% 15 años 92% 10 años 98% 5 años

Tabla 2. Series recientes de OVAT con mayor seguimiento, y su tasa de supervivencia.

3.4.5 Complicaciones

La OVAT es pues un procedimiento frecuente, seguro, y con buenos resultados a largo plazo. A pesar de esto, no está exento de complicaciones, que van desde el 3.8%¹⁰⁰ al 15%,⁹⁹ según las series analizadas. Un número importante de las complicaciones está debido a alguno o varios de los siguientes factores: errores en la selección del paciente, planificación preoperatoria incorrecta, técnica quirúrgica mal ejecutada y tratamiento postoperatorio inadecuado. Se detallan a continuación las complicaciones consideradas más significativas, excluyendo la conversión a PTR, que se entiende como el punto final natural de la progresión artrósica de la rodilla, que obviamente excede las posibilidades del procedimiento:

- **Lesión neurológica**

La posibilidad de aparición de lesión neurológica tras una OVAT es prácticamente nula. En cambio, tras realizar una osteotomía valguizante de cierre tibial proximal este es uno de los efectos adversos más frecuente y temido. El necesario gesto sobre el peroné, ya sea mediante luxación de la tibioperonea proximal o realizando una osteotomía también en este mismo hueso, hace que la incidencia de complicaciones neurológicas, habitualmente sobre el nervio peroneo o fibular común (*nervus fibularis communis*) aumente considerablemente. Una incidencia de hasta el 3.1% de defectos motores y 4.1% de defectos sensitivos han sido publicados en series extensas donde se analizaron osteotomías de cierre tibial proximal. Estos trastornos suelen ser transitorios (neurapraxias) y, en esta serie, resultaron definitivos el 1.2% y el 1.5% de los casos, respectivamente.¹⁰³

- **Lesión vascular**

Las lesiones vasculares también son complicaciones poco frecuentes en una OVAT, en general se cree que corresponden a lesiones directas de la arteria tibial posterior. Se ha estudiado bajo ecografía *doppler* la distancia entre la arteria poplítea y la cortical posterior de la tibia, para investigar la protección aparente que existe al colocar la rodilla en flexión de 90°. Se comprobó que la distancia entre la cortical posterior de la tibia y la arteria poplítea aumenta parcialmente al flexionar la rodilla en el 75% de los casos, en cambio, en el resto de los casos esa distancia disminuye.¹⁰⁴ En extensión, la distancia entre ambas estructuras oscila entre 3.9 y 10.8 mm.¹⁰⁵ Para disminuir el riesgo de este tipo de lesiones es obligatorio realizar una correcta disección del borde posteromedial de la tibia y la colocación de un separador de Hohmann en la zona, que se debe mantener in situ hasta finalizar la colocación del injerto óseo en el defecto de apertura generado. Se recomienda también trabajar con precaución en todo momento, especialmente al manejar instrumentos de corte, principalmente los motorizados.

- **Hipocorrección, hipercorrección y pérdida de la misma**

La hipo e hipercorrección son por lo general, secundarias a una planificación quirúrgica y/o ejecución incorrecta de la técnica. Aunque la necesidad de una re-osteotomía es infrecuente (<5%), la incidencia de una corrección fuera del rango deseado varía entre el 5 y el 20%.¹⁰⁰ La hipocorrección está relacionada con peores resultados y una disminución de la supervivencia del procedimiento. Por su parte, una hipercorrección superior a 6° de valgo mecánico femorotibial no mejora el resultado ni es bien tolerada por el paciente, por lo que debería evitarse. La hipercorrección superior a 10° de valgo es incompatible con una marcha normal y obliga a corregir la osteotomía. Diferentes series hacen mención a la pérdida de corrección relacionada, por un lado, con el tiempo de evolución de la osteotomía y por otro con el grado de corrección logrado en el postoperatorio inmediato.^{100, 106}

Segal y cols. observaron en su serie una recidiva de la deformidad en el 14% de los casos cuando la corrección postoperatoria obtenida estaba entre 3° y 6° de valgo. En cambio la pérdida de corrección alcanzó el 38% cuando la corrección quirúrgica obtenida se situaba entre 0° y 2° de valgo.¹⁰⁶

- **Patella baja**

Se recomienda evitar la realización de una OVAT en casos de altura *patellar* baja, ya que en la OVAT existe una tendencia inherente a disminuir aún más la altura *patellar* tras la realización de este procedimiento.

En las series más antiguas, este tipo de complicación se relacionó con la utilización de inmovilizaciones postoperatorias rígidas y con el mantenimiento de la rodilla en extensión durante períodos prolongados tras la cirugía.^{107,108}

En una revisión sistemática donde se incluyeron estudios más recientes, la mayoría de ellos hace mención a una disminución de la altura *patellar* tras realizar una OVAT, existiendo cierta variabilidad según el método utilizado para medir la misma. Sorprendentemente, cabe destacar, que en esta revisión sistemática no existió una correlación concluyente entre la disminución de la altura *patellar* y la clínica/radiología postoperatoria.¹⁰⁹ Los autores concluyeron que la realización de una OVAT manteniendo la TAT unida al segmento proximal de la osteotomía, o bien una osteotomía valguzante de cierre proximal serían las alternativas más adecuadas para aquellos casos con una altura *patellar* preoperatoria límite.

- **Alteración de la pendiente tibial posterior**

Al presentar la tibia una sección transversal triangular en la zona de transición metafisaria donde se realizan las osteotomías de apertura, generar una cuña con la misma altura en la parte anterior y posterior afectará no solo a la alineación en el plano frontal sino también a la pendiente tibial. En ese caso, una cuña de apertura tiende a aumentar la PTP y una cuña de cierre, la reduciría.⁴⁷ El aumento de la PTP luego de una OVAT no sólo es perjudicial para la evolución ulterior de la misma, sino que genera un incremento de las fuerzas ejercidas sobre el LCA (original o reconstruido), pudiendo afectar el funcionamiento o la supervivencia del mismo.^{110,111} Al realizar una OVAT se recomienda crear un defecto (*gap*) de morfología trapezoidal, con base mayor posterior, para evitar un incremento no deseado de la PTP que modificara el aspecto sagital de la tibia.⁴⁷

- **Fracturas intraarticulares**

En algunos casos, la línea de osteotomía se prolonga de manera no deseada hacia la superficie articular. Esta complicación puede ocurrir tanto en osteotomías de cierre como

de apertura.^{37,61} Sin embargo, no existen indicios en que esta fractura afecte el resultado a largo plazo del procedimiento si se logra una buena corrección de la deformidad, se mantiene la congruencia articular y se obtiene una fijación estable.³⁹ Para evitar estas fracturas no deseadas, se recomienda conservar 1 cm de hueso en la cortical lateral de la tibia, dando especial importancia al punto hasta dónde llega la osteotomía en el ángulo posterolateral de la tibia, para lo que es de utilidad el control radioscópico y la utilización de escoplos calibrados. Posteriormente, la introducción de cuñas progresivas de manera cuidadosa, sin prisa, permite lograr que la cortical lateral se deforme de manera plástica, manteniendo íntegra la bisagra lateral.

La colocación de un tornillo de manera percutánea puede tener un efecto beneficioso no sólo para estabilizar aquellos casos donde la osteotomía se prolonga hacia la cortical lateral sino también para acelerar el proceso de curación ósea.¹¹²

- **Pseudoartrosis**

Tienen mayor riesgo aquellos pacientes con comorbilidades como la diabetes, aumento del IMC, o tabaquismo, todos estos son factores conocidos que afectan el proceso de consolidación ósea. A finales de los años '80 del siglo pasado, Cass y cols. reportaron una frecuencia de pseudoartrosis cercana al 4%.¹¹³ En series más recientes, al comparar las OVAT con las de cierre, las primeras presentan una ligera mayor tendencia a sufrir esta complicación, 3.6% y 2.3% respectivamente.⁹⁹ Cuando se confirma esta complicación, una vez descartada la infección, la solución pasa, como en la mayoría de pseudoartrosis, por incrementar el aporte biológico local y/o considerar el cambio del sistema de estabilización, según el caso.

- **Rigidez articular**

Es poco frecuente en la actualidad en comparación con las series históricas de osteotomía valguizante. En este aspecto, igual que en otros tipos de cirugía de rodilla, ha tenido un papel relevante el cambio conceptual de movilización articular postoperatoria temprana, que ha sido posible por la mejora en los sistemas utilizados para la fijación de la osteotomía. La movilidad articular temprana junto con el apoyo precoz, contribuyen a evitar la atrofia del cuádriceps y previenen el acortamiento del tendón rotuliano tras el procedimiento.¹¹⁴

- **Infecciones**

La infección profunda es poco frecuente cuando se realiza una OVAT. Las tasas de infección no difieren respecto a otros procedimientos donde se utiliza material de osteosíntesis.^{63,115} Un mayor registro de infección se detecta en aquellas series donde se utilizan fijadores externos para la estabilización de la osteotomía, con cifras cercanas al 10%.¹¹⁶

Cuando existen infecciones profundas, el tratamiento consiste en la toma de muestras para cultivo, desbridamiento quirúrgico de la herida (más o menos agresivo), antibioticoterapia endovenosa de amplio espectro, en principio, y dirigida, en cuanto sea posible, y retención o extracción del implante dependiendo del grado de consolidación de la osteotomía.

- **Síndrome compartimental**

Esta es una complicación extremadamente poco frecuente, aunque temible, en la OVAT, en comparación con las osteotomías de cierre proximal lateral. Se ha demostrado en estas últimas que la colocación de un drenaje aspirativo en el compartimento anterior de la pierna resulta útil en la prevención de la aparición de un síndrome compartimental.¹¹⁷

- **Enfermedad tromboembólica**

Los valores hallados en la bibliografía para este tipo de complicación son similares en las diferentes series revisadas, oscilando entre el 2 y el 5%.^{63,118} Llamativamente, Turner y cols. analizaron mediante flebografía 84 pacientes operados de una osteotomía valguzante de tibia, encontrando una incidencia del 41% de trombosis venosa profunda, aunque sin repercusión clínica en la gran mayoría de los pacientes, siendo excepcional la complicación pulmonar. Sugiriendo que esta complicación es mucho más frecuente de lo supuesto previamente, aunque sin repercusión clínica en muchas ocasiones. La recomendación habitual es la profilaxis con heparina de bajo peso molecular de manera similar a la realizada tras una PTR.¹¹⁹

3.5 Justificación del estudio

Durante los primeros años de mi ejercicio como especialista y, muy especialmente, desde mi llegada al *Institut Català de Traumatologia i Medicina de l'Esport* (ICATME), donde existía larga tradición en el tratamiento de deformidades angulares de las extremidades inferiores mediante osteotomías, me interesó esta técnica. Incluso en un centro especializado, la osteotomía valguzante de tibia no es una técnica sencilla, su correcta planificación y perfecta ejecución son requisitos imprescindibles para un buen resultado. Además, la reciente aparición de la técnica de apertura, a priori más sencilla y reproducible, por la facilidad de corrección progresiva de la deformidad coronal, pronto evidenció que podía causar deformidades tibiales asociadas en el plano sagital y alteraciones en la longitud del tendón *patellar*, que podían acarrear alteraciones de la altura rotuliana.

Toda esta problemática, todavía no completamente resuelta, y el afán por profundizar en el conocimiento de la planificación y correcta ejecución de la OVAT motivaron el diseño de esta tesis

doctoral que se estructuró como un compendio de tres artículos que a continuación se detallan.

3.5.1 Artículo 1

Con la OVAT se han demostrado resultados satisfactorios en la corrección del genu varo sintomático, en pacientes adultos-jóvenes, activos y sin artropatía avanzada. Sin embargo, a la misma se le asocian fundamentalmente 2 complicaciones. En primer término, la realización de la cuña de apertura a nivel supratuberositaria se vincula con la disminución de la altura *patellar*,¹⁰⁹ y, en segundo término, se han descrito modificaciones en la PTP relacionadas con el tamaño de la corrección a realizar, las características del *gap* resultante y la conformación triangular de la tibia en el sitio donde se realiza la osteotomía.⁴⁷ La OVAT-L surge como alternativa a realizar en aquellos pacientes con altura *patellar* normo-baja o con riesgo de desarrollar una *patella* baja, debido al grado de corrección que se plantea realizar.

Hasta la fecha no hemos encontrado un estudio que analice los resultados de realizar un OVAT-L donde se evalúe, no sólo la repercusión de la misma sobre la altura *patellar*, sino también el efecto sobre la PTP y las posibles complicaciones sobre la TAT.

3.5.2 Artículo 2

El punto donde debería comenzar la osteotomía (distancia desde la interlínea articular) cuando se realiza una OVAT ha sido propuesto a diferentes niveles, según la preferencia y justificación de los autores.¹⁴⁹⁻¹⁵¹ Aunque el valor del lugar donde se ubica la cuña de apertura, y su repercusión sobre la PTP, también han sido objeto de estudio previo,⁴⁷ no hemos encontrado ningún trabajo que compare la relevancia del punto donde comienza la osteotomía y su relación con las modificaciones en la PTP, según el sitio de colocación de la cuña de apertura tibial.

3.5.2 Artículo 3

En aquellos pacientes donde realizar una OVAT sería una indicación límite debido al riesgo de generar una *patella* baja en el postoperatorio, la OVAT-L podría ser la alternativa de elección.

No ha sido descrito hasta la actualidad la técnica quirúrgica de una OVAT-L donde se detalle una secuencia de fijación enfocada en conservar la altura *patellar* y la PTP, sin producir complicaciones a nivel de la TAT.



HIPÓTESIS

4

HIPÓTESIS

4

Estudio 1

- La OVAT-L permitirá corregir de manera adecuada la deformidad en el plano axial, sin generar modificaciones en la altura *patellar* ni en la PTP, logrando resultados clínicos satisfactorios.

Estudio 2

- La distancia entre la interlínea articular y el punto donde se inicia la osteotomía tiene un papel significativo en la PTP resultante al realizar una OVAT.
- El sitio de colocación de la cuña de apertura tibial será relevante en la PTP obtenida tras realizar una OVAT.

Estudio 3

- La modificación en la técnica quirúrgica estándar de la OVAT, realizando un doble corte (biplanar) en L-invertida, incluyendo la TAT en el fragmento proximal de la osteotomía, evitará que se produzcan tanto acortamientos de la altura *patellar* como incrementos de la PTP.



OBJETIVOS

5

OBJETIVOS

5

Estudio 1

- Determinar el impacto sobre la altura *patellar*, la pendiente tibial posterior, la corrección lograda en el plano axial y los resultados funcionales al realizar una OVAT-L.

Estudio 2

- Evaluar la repercusión sobre la PTP del punto de inicio (distancia de la interlínea articular) del plano de osteotomía, al realizar una OVAT.
- Comparar el efecto generado sobre la pendiente tibial posterior al modificar el sitio de colocación de la cuña de apertura cuando se realiza una OVAT.

Estudio 3

- Describir una modificación en la técnica quirúrgica estándar de la OVAT, realizando un doble corte en L-invertida, incluyendo de esta manera la tuberosidad anterior de la tibia en el fragmento proximal de la osteotomía. Establecer una secuencia de fijación específica para evitar incrementos de la pendiente tibial posterior.



MATERIAL, MÉTODOS Y RESULTADOS

6

MATERIAL, MÉTODOS Y RESULTADOS

6

Resumen del artículo 1:

Título: *“Biplane opening wedge high tibial osteotomy with a distal tuberosity osteotomy, radiological and clinical analysis with a minimum follow-up of 2 years”*

Introducción

La osteotomía valguizante de apertura tibial está aceptada como tratamiento de la artrosis femorotibial medial en rodillas con genu varo sintomático. Sin embargo, las osteotomías de apertura supratuberositarias tienden a disminuir la altura *patellar*, lo que limita su indicación en pacientes con *patella* normal o al límite. Además, estas osteotomías pueden alterar las fuerzas ejercidas sobre la articulación femorrotuliana e incluso modificar la báscula *patellar* lateral. Con el objetivo de poder incluir en esta indicación quirúrgica a los pacientes con *patella* normobaja se ideó una osteotomía valguizante de apertura tibial, biplanar, en “L” invertida (OVAT-L), que se sintetizaba siguiendo una secuencia específica. El objetivo de este estudio fue evaluar la repercusión de la OVAT-L sobre la articulación femorrotuliana, la pendiente tibial posterior, los resultados funcionales y la corrección lograda en el plano axial. La hipótesis era que la OVAT-L permitiría evitar cambios en la altura *patellar* sin generar modificaciones en la pendiente tibial posterior.

Métodos

Se trata de un estudio retrospectivo aunque los datos se recogieron prospectivamente. Se incluyeron los pacientes operados de una OVAT-L con un seguimiento mínimo de 24 meses. Se evaluó preoperatoriamente, en el postoperatorio inmediato y a los 24 meses de la cirugía, el eje mecánico de la extremidad, la altura *patellar*, la pendiente tibial posterior y la inclinación (báscula) *patellar* lateral. Los resultados clínicos fueron evaluados utilizando las escalas de Lysholm, Kujala y del *Hospital for Special Surgery* (HSS). Se contemplaron también la aparición de dolor femorrotuliano y los eventuales cambios radiológicos a nivel de la articulación femorrotuliana.

Resultados

Se incluyeron 23 pacientes con un seguimiento medio de 33 meses (rango 27-41). El eje mecánico de la extremidad inferior evolucionó de un genu varo medio preoperatorio de $9.3^\circ \pm 2.5^\circ$ a una media de genu valgo de $0.2^\circ \pm 2.2^\circ$ en el postoperatorio. No se observaron cambios significativos en la altura *patellar*, en la inclinación rotuliana lateral, ni en la pendiente tibial posterior. Las medias de las escalas de Lysholm y HSS mejoraron de 68.3 ± 9.1 y 64.2 ± 5.2 en el preoperatorio a 93.2 ± 2.1 y 94.1 ± 3.6 al final del seguimiento ($p < 0.01$), respectivamente. Los resultados en la escala de Kujala mejoraron de una media de 67.3 ± 9.8 a 86.4 ± 7.6 al final del seguimiento ($p < 0.01$). Ningún paciente desarrolló síntomas clínicos ni cambios radiológicos a nivel de la articulación femorrotuliana.

Conclusiones

La osteotomía valguzante de apertura tibial biplanar, con un corte distal en "L" invertida, permite corregir correctamente la alineación de la extremidad en el plano coronal, sin generar cambios en la articulación femorrotuliana ni en la pendiente tibial posterior, brindando a la rodilla mejoras funcionales en el seguimiento a corto plazo. Los hallazgos radiológicos y clínicos obtenidos de este estudio apoyan la utilización de esta técnica para tratar la artrosis femorrotibial medial en pacientes adultos jóvenes, con genu varo y una altura *patellar* normo-baja.

RESEARCH

Open Access

Biplane opening wedge high tibial osteotomy with a distal tuberosity osteotomy, radiological and clinical analysis with minimum follow-up of 2 years



Juan Erquicia¹, Pablo Eduardo Gelber^{1,2}, Simone Perelli^{1*} , Federico Ibañez¹, Maximiliano Ibañez¹, Xavier Pelfort^{1,3} and Juan Carlos Monllau^{1,4}

Abstract

Background: High tibial osteotomy is an established and helpful treatment for unicompartmental osteoarthritis associated with varus deformity. However, asupratubercle high tibial osteotomy leads to a decrease in patellar height making the technique not suitable in case of concomitant patella baja. Moreover, this kind of osteotomy can change in situ forces at patellofemoral joint and the lateral patellar tilt. With the aim to widen the indication of high tibial osteotomy was proposed a biplane opening wedge high tibial osteotomy with a distal tuberosity osteotomy (B-OWHTO). This technique provide that the tibial tuberosity remains joined to the tibial metaphysis so as not to theoretically alter the patellar height. However, some Authors claim that BOWHTO could lead to an increase in tibial slope. The purpose of the present study was to assess the tibial slope, patella-femoral changes and axial correction as well as functional outcomes following a B-OWHTO.

Methods: Patients operated on with a B-OWHTO and a minimum 24 months of follow-up were included. The mechanical alignment of the lower limb, patellar height, lateral patellar tilt and posterior tibial slope were calculated preoperatively, immediately after surgery and at the 24-month follow-up. The clinical results were evaluated using the Lysholm, Kujala and Hospital for Special Surgery knee scores. The possible postoperative development of patellofemoral pain or radiologic patellofemoral alteration was also evaluated.

Results: Twenty-three patients were included with a mean follow-up of 33 months (range 27-41). The mechanical alignment of the lower limb shifted from a mean $9.3^\circ \pm 2.5$ varus preoperatively to a mean $0.2^\circ \pm 2.2$ valgus postoperatively. No changes in patellar height, lateral patellar tilt or in the posterior tibial slope were observed. The mean Lysholm and HSS scores improved from 68.3 ± 9.1 and 64.2 ± 5.2 preoperatively to 93.2 ± 2.1 and 94.1 ± 3.6 at final follow-up ($p < 0.01$). The mean Kujala score improved from 67.3 ± 9.8 to 86.4 ± 7.6 at final follow up ($p < 0.01$). No patients developed both radiological or clinical symptoms at patellofemoral joint.

Conclusions: Open wedge high tibial osteotomy with a dihedral L-cut distal and posterior to the tibial tubercle accurately corrected axial malalignment without any change at patella-femoral joint or any modification to the posterior tibial slope while providing improved knee function at short-term follow-up. The radiographic as well as the clinical results support the use of this technique to treat medial compartment knee osteoarthritis and varus malalignment in young and middle-aged patients with a normal-to-low patellar height.

(Continued on next page)

* Correspondence: perelli.simone@gmail.com

¹ICATME, Hospital Universitari Dexeus, UAB, Carrer de Sabino Arana, 5, Barcelona 08028, Spain

Full list of author information is available at the end of the article

(Continued from previous page)

Level of evidence: Case series with no comparison group, Level IV.

Keywords: High tibial osteotomy, Open wedge tibial osteotomy, Biplanar tibial osteotomy, Tuberosity osteotomy, Patellar height, Tibial slope

Background

High tibial osteotomy (HTO) is an established treatment for patients with medial compartment knee osteoarthritis (OA) and varus malalignment (Poignard et al. 2010). Open wedge high tibial osteotomy (OWHTO) has gained in popularity over recent years as a viable alternative to the traditional lateral closed wedge osteotomy. This technique has several advantages over the lateral closed wedge osteotomy. They include avoiding a fibular osteotomy and the risk of peroneal nerve complications (Gaasbeek et al. 2010), smaller surgical exposure without muscle detachment, easier and more precise correction that can be change even after the osteotomy cut (Bito et al. 2009; Hankemeier et al. 2010). Furthermore, it can make an eventual future knee replacement easier not only due to the location of the skin approach but more because an OWHTO decreases the metaphyseal deformity caused by a closed wedge (Hui et al. 2011).

However, OWHTO has some potential disadvantages for the patellofemoral joint. Firstly, because a supra-tubercle osteotomy can lower the height of the patella, which is particularly true when a large correction is required (Amzallag et al. 2013). As a consequence, the use of an OWHTO is not usually recommended in cases of *patella infera*. (Schallberger et al. 2011; Lobenhoffer et al. 2009) However, it should be kept in mind that the origin of *patella infera* is likely multifactorial and so even patients with a preoperative normal-to-low patellar height could end up with this condition. Additionally, OWHTO can increase patellofemoral contact pressure and cause patellofemoral degeneration overtime even when patellar height has not been modified. (Stoffel et al. 2007) For those reasons, some surgeons advise against OWHTO when patellofemoral pain or patellofemoral chondral alterations are present even in patients with normal patellar height (Il et al. 2017; Kim et al. 2016; Kloos et al. 2018). A study recently has shown that an alteration of the axial alignment of the patella with a change of the lateral patellar tilt can be observed with a standard OWHTO. This fact could contribute to explaining the changes described before (Lee et al. 2016).

A second possible drawback of supra-tubercle OWHTO is its tendency to increase the sagittal tibial

slope (Akizuki et al. 2008). Increasing the tibial slope may affect antero-posterior translation of the tibia as well as the in-situ forces on the anterior cruciate ligament.

With the aim of solving these potential problems and so broaden OWHTO indications, some authors still support the use of the standard infra-tubercle HTO in these cases (Shim et al. 2013). However, moving the tibial osteotomy distally reduces the total surface of cancellous bone at the osteotomy site and increases the risk of non-union. Several authors have already reported superior clinical outcomes of traditional supra-tubercle OWHTO over infra-tubercle HTO due to lower non-union rates (Noyes et al. 2006).

The further solution suggested by some authors in previous studies to deal with these issues is to perform a modification of the standard technique: a biplane OWHTO with a distal tuberosity osteotomy (OWHTO-B). This technique provide that the tibial tuberosity remains joined to the tibial metaphysis so as not to theoretically alter the patellar height without increasing the patellofemoral pressures (28) or even diminishing them (Kloos et al. 2018).

The aim of this study was then to assess the tibial slope, any patello-femoral change and axial correction as well as functional outcomes following a OWHTO-B. It was hypothesized that while providing good clinical results, this technique would accurately correct the axial malalignment without producing patello-femoral radiological alterations and keeping the posterior tibial slope unchanged.

Methods

A retrospective analysis was performed of patients who had undergone an OWHTO-B for symptomatic medial osteoarthritis between 2012 and 2014 at the authors' institution. Patients who did not have the corresponding radiographies before surgery, immediately after surgery and 24 months after the index procedure were also excluded. All the radiographic studies had to be performed at the index institution.

Like for every tibial osteotomy, the general indications for surgery were the presence of a varus tibial deformity associated with symptomatic narrowing of the medial

compartment space, the absence of a flexion contracture, a flexion range of motion of at least 90° and the failure of other conservative treatment. OWHTO-B was particularly indicated when possibility of postoperative Caton Deschamp Index (CDI) less than 0.8 was present due to the risk of excessive and somehow unpredictable degree of patellar lowering: 1) in cases of a CDI less than 0.8, 2) in cases of CDI between 0.8 and 1, but a planned correction greater than 10° and, as extended indication, 3) in case of combined varus malalignment and patellofemoral pain or radiological patellofemoral alterations with a normal CDI. This is due to its ability to decrease the patellofemoral joint pressures (Kloos et al. 2018).

Contraindications were severe bone loss in the femoral condyle or tibial plateau, the presence of rheumatoid arthritis or infectious arthritis, the presence of prominent osteoarthritis in the lateral compartment and markedly limited joint motion.

The clinical research ethics committee of our institution approved the study (protocol number HTOL 2017–01). All the patients signed informed consent to participate in the study as well as for the evaluation and publication of their results.



Fig. 1 Measurement of the Caton-Deschamps index and the posterior tibial slope. *CDI*: Caton- Deschamps index, *TS*: tibial slope

Preoperative study

- Full-weight-bearing long-leg standing anteroposterior radiographs were performed to determine the angle of the extremity and the desired degree of correction. A postoperative anatomic femoral-tibial axis of 5–8° valgus and a mechanical axis around the Fujisawa point was the goal (Habata et al. 2006).
- The Schuss or Rosenberg radiographic view (Rosenberg et al. 1988) was used to evaluate the joint line space.
- A lateral non-weight-bearing radiography of the knee at 30° of flexion was used to measure the posterior tibial slope and the patellar height. The angle of the posterior tibial slope was determined based on a line passing through the posterior cortex of the tibia and another parallel to the joint slope (Brazier et al. 1996). For patellar height, the CDI was measured as previously described (Caton et al. 1982) (Fig. 1).
- A Merchant view (skyline view with knee flexed to 45°) was used to calculate the lateral patellar tilt (LPT) and the severity of patellofemoral arthritis. The latter was classified into 4 stages according to Merchant et al. (Kim and Joo 2012) (Fig. 2)

Two observers, blind from the aim of the study, performed all the radiographic measurements. They were carried out using the PACS system (Centricity Enterprise Web V3.0; GE Healthcare).

Surgical technique

Two senior surgeons performed all the procedures. Once an arthroscopic evaluation of the knee had been done, a 6–7 cm-longitudinal approach mid-way between the tibial tuberosity (TT) and the posteromedial border of the tibia was performed. The semitendinosus and gracilis tendons were released and the superficial medial collateral ligament was freed from its distal insertion. The patellar tendon was identified and protected with a retractor.

Osteotomy

The OWHTO-B has two different osteotomy planes. While the horizontal cut is similar to the standard OWHTO, the vertical part of the osteotomy is performed posterior to the tibial tubercle. Under fluoroscopic control, one 2.4-mm guiding Kirschner wire was placed in the medial cortex of the tibia at the metaphyseal-diaphyseal transition zone with the aim of tipping the fibular head in a proximal and posterolateral direction. The K-wire guided the sagittal cut performed in the posterior two thirds of the tibia. It is crucial to maintain perfect perpendicularity to the main axis of the bone on the sagittal plane to avoid tibial slope

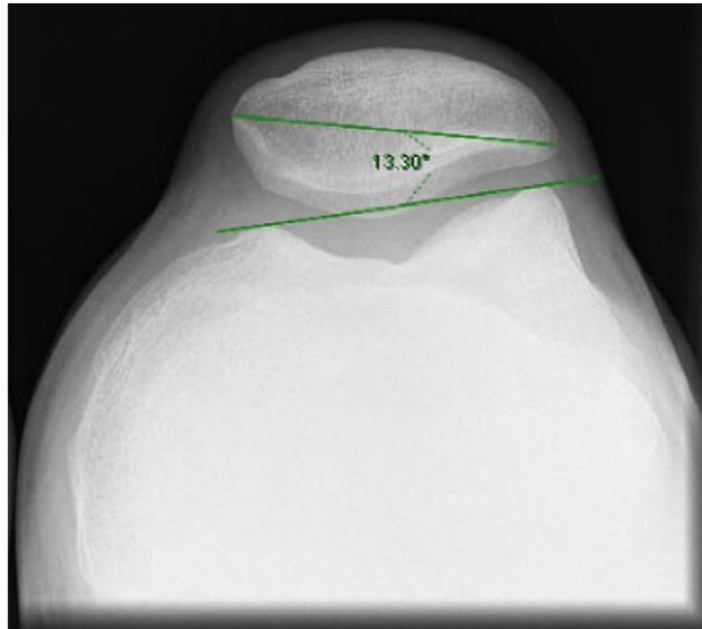


Fig. 2 Measurement of the Lateral Patellar Tilt

modifications. This section of the osteotomy ended 1 to 2 cm medial to the lateral border of the tibia. The second section of the osteotomy was vertical in the coronal plane and extended 3 to 4 cm distally. Thus, the TT together with the proximal segment of the osteotomized tibia was maintained. A thickness of 10 mm of the TT should be maintained in the most proximal part to minimize the risk of fracture. The desired correction is achieved using a metallic wedge introduced in the posterior-most part of the osteotomy site, thereby creating a trapezoidal gap to avoid an increase in the tibial slope (Fig. 3). To prevent anterior tilting of the TT leading to an increase in the posterior tibial slope, one or two anteroposterior cortical screws fixing the TT were secured before the osteotomy plate was placed. Then, the locking LOQTEQ®HTO plate (Berlin, Germany), was accordingly fixed (Fig. 4). Finally, the osteotomy gap was filled with an iliac crest allograft.

Rehabilitation protocol

Patients started continuous passive motion of the knee as well as isometric quadriceps strengthening exercises immediately after surgery. During the first 3 weeks, patients were only allowed toe-touch partial weight-bearing. Then, progressive weight bearing as tolerated started. Full weight bearing was allowed after week 6.

Complications were recorded during the study period, which had a minimum follow-up of 24 months.

The same preoperative radiological studies were carried out at the latest follow up.

Clinical assessment

Clinical and functional follow-up included the Lysholm, Kujala and Hospital for Special Surgery (HSS) knee scores. The physical examination as well as the functional evaluation of every patient was performed preoperatively and at final follow-up by a single sports medicine surgeon who was independent of the study. Attention was paid to the clinical evaluation of any postoperative patellofemoral pain manifested by patients.

Radiological follow up

In every case a standard X-ray protocol was obtained preoperative and at 1–6–12–24 months postoperative. The protocol comprised a full-weight-bearing long-leg standing anteroposterior radiographs, a lateral non-weight-bearing radiography of the knee at 30° of flexion, a Merchant view. Femoral-tibial angle, posterior tibial slope, CDI, LPT and degree of patellofemoral arthritic degeneration were collected. Immediately postoperative was not obviously possible to obtain a full-weight-bearing long-leg standing X-ray as well as a Merchant view. Only standard anteroposterior and lateral non-weight-bearing radiography of the knee at 30° of flexion were obtained.

CDI and posterior tibial slope were collected starting from the immediate postoperative radiographs.

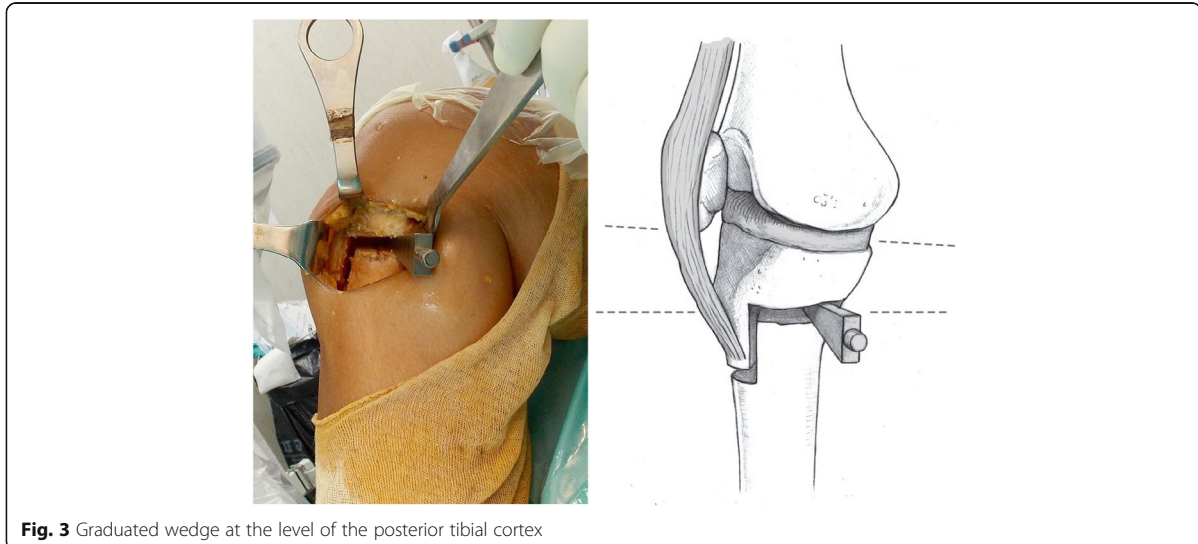


Fig. 3 Graduated wedge at the level of the posterior tibial cortex

LPT, femoral-tibial angle and severity of patella-femoral arthritis were collected starting from the 1-month follow-up radiographs.

Statistical analysis

Continuous variables are presented as means, standard deviations (SD), maximums and minimums. Categorical variables are presented as percentages and frequencies.

For analysis of the repeated measures, Bonferroni's correction was used to identify differences between baseline and follow-up radiographic measurements.

Because of the small sample number, statistical tests were not utilized to evaluate normality. Instead, the assessment was performed with non-parametric equivalents, which showed no discrepancies in terms of

significance. The inference in continuous variables was calculated with the paired-samples T-test and their results are presented with their 95% confidence interval (95% CI). Interobserver variability was analyzed with the variance test. The level of significance was set at 5% ($\alpha = 0.05$), a bilateral approximation. All the analyses were performed with the SPSS 19 (SPSS Inc., Chicago, Illinois).

Results

During the studied period 33 L-OWHTO were performed. Ten patients were excluded because some of the necessary postoperative images were lacking. Twenty-three patients (15 males and 8 females) with a mean age of 42.7 years (range 20.1 to 54.3 years) were finally included. The median body mass index was 27.4 (range of 21.6–32.7). The



Fig. 4 Postoperative aspect, without significant modifications in patellar height or the posterior tibial slope

mean follow up was 33 months (range 27–41). Concomitant surgical procedures were: 1 anterior cruciate ligament reconstruction (4.3%), 8 meniscectomy (34.7%), 4 microfractures at medial condyle (17.4%).

Radiological assessment

The mechanical alignment of the lower limb shifted from a mean varus of $9.3^\circ \pm 2.5$ preoperatively to a mean valgus of $0.2^\circ \pm 2.2$ four weeks after surgery and to a mean valgus of $0.4^\circ \pm 2.6$ at the 24-month follow-up assessment (Table 1). The osteotomy did not alter neither the posterior tibial slope nor the patellar height in the immediate postoperative radiography (Table 1 and Figs. 5 and 6). No differences were noted neither in lateral patellar tilt at 1-month postoperative X-ray (Table 1). All these parameters remained unchanged at the 24-month follow-up (Table 1). Radiographically, most of the patellofemoral joints (20 out of 23) were graded I or II in the Merchant stage system. Merchant grades of the patellofemoral joints were not significantly different at preoperative evaluation and at latest follow up. There were no differences in the measures calculated for the two observers.

Clinical results

The mean Lysholm and HSS scores improved from 68.3 ± 9.1 and 64.2 ± 5.2 preoperatively to 93.2 ± 2.1 and 94.1 ± 3.6 at final follow-up ($p < 0.01$). The mean Kujala score improved from 67.3 ± 9.8 to 86.4 ± 7.6 at final follow up ($p < 0.01$). Preoperatively 5 out of 23 patients reported mild patellofemoral pain, at the final follow up no patients complained about anterior knee pain.

Only 2 out of the 23 patients included in the study showed complications. One patient had a pulmonary thromboembolism. This patient had had similar episode two decades before. It was successfully treated with oral anticoagulants. Another patient required hardware removal 28 months after surgery. No problems relative to unions or infections were observed.

Discussion

The most important finding of the present study was that a OWHTO-B accurately corrected varus axial malalignment in patients with mid-to-low patellar height

without causing any patellofemoral change or increasing the posterior tibial slope. The patients also had improved outcomes in the evaluated functional outcomes. All these findings confirmed our hypothesis. The rate of complication was low and all the osteotomies healed without delayed union.

Traditional OWHTO techniques cause distalization and lateralization of the TT, resulting in a decrease of patellar height as suggested by Goutallier using a mathematical model (Goutallier et al. 1979). In a recent study, Amzallag et al. showed that patellar height decreased more than 20% in one-third of patients after an OWHTO. (Amzallag et al. 2013)

These changes would negatively affect the functional results of the osteotomy. Likewise, several recent studies confirmed the advantages of the closed-wedge HTO over the OWHTO in relation to patellar height preservation (Bin et al. 2016; Gaasbeek et al. 2004; El-Amrani et al. 2010; Ozel et al. 2015; Brinkman et al. 2008; Noyes et al. 2005; Stoffel et al. 2007; Ferner et al. 2018). This is even more important in higher axial deviations as a correlation between the degree of axial correction and the lowering of the patella has been shown (Amzallag et al. 2013). With the OWHTO-B technique, the tibial tuberosity remains attached to the proximal fragment of the osteotomy. Subsequently, the patellar height remained unchanged. The OWHTO-B is not intended to increase patellar height as it does not move the patella upwards. Therefore, this technique is not recommended in cases of a Caton Deschamp Index less than 0.6. Instead, a combined HTO and a separate osteotomy of the TT to heighten the tuberosity is indicated to handle the varus deformity and the patellar height.

Other authors have already shown some similar modifications to the traditional OWHTO technique in order to avoid modifications of patellar height. Gaasbeek et al. (Gaasbeek et al. 2004), in a study with 17 patients, showed the results of an OWHTO preserving the TT attached to the proximal tibia and also fixing the TT with an anteroposterior screw. However, the authors did so after the osteotomy plate was fixed. Then, this anteroposterior screw could not have prevented any eventual anterior tilting of the proximal fragment. In addition, the

Table 1 Statistical analyses between preoperative and final follow-up results

	Preoperative mean score \pm SD	Postoperative mean score \pm SD	24 months postoperative mean score \pm SD	Comparison of preop and postop (P value)	Comparison of preop and 24 months postop (P value)	Comparison of postop and 24 months postop (P value)
Mechanical axis	$9.2^\circ \pm 2.5^\circ$	$-0.2^\circ \pm 2.2^\circ$	$-0.4^\circ \pm 2.6^\circ$	< 0.001	< 0.001	NS
Patellar height	0.94 ± 0.1	0.95 ± 0.08	0.95 ± 0.12	NS	NS	NS
Tibial slope	$4.4^\circ \pm 2.1^\circ$	$5.1^\circ \pm 1.4^\circ$	$5.2^\circ \pm 1.4^\circ$	NS	NS	NS
Lateral Patellar Tilt	$13.1^\circ \pm 2.9^\circ$	$12.9^\circ \pm 3.2^\circ$	$12.8^\circ \pm 3.7^\circ$	NS	NS	NS

SD standard deviation, NS not significant

Postoperative score is intended as immediate postoperative for patellar height and posterior tibial slope and 1-month follow-up for tibial slope and lateral patellar tilt

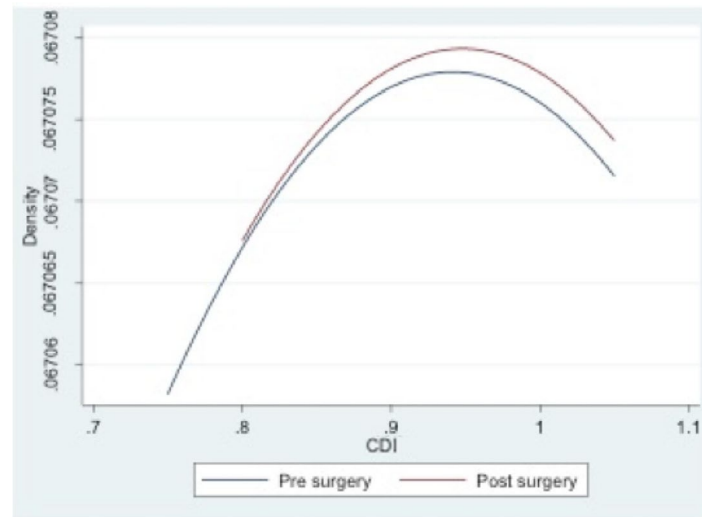


Fig. 5 Pre- and postoperative Caton-Deschamps indexes

authors did not measure the tibial slope changes. They also had two complications. One of the patients had a fracture of the TT and another patient had a delayed union. Conversely, no complications related to the technique were observed in the current study. It is likely that the difference in the sequencing of the osteotomy's fixation provided better contact between the tibial tuberosity and the distal tibial fragment.

To avoid modifications in patellar height and the tibial slope, Shim et al. (Shim et al. 2013) analyzed the results of an OWHTO distal to the TT. Despite achieving acceptable clinical and radiological results and because of

the possibility of delayed union, they suggested the use of this technique only for those patients with an open physis and/or require minor corrections, have a body mass index below 25 and that the osteotomy gap be filled with autogenous iliac crest bone graft.

Standard OWHTO is contraindicated in patients with patella *infera*. The Caton-Deschamps index defines patella *baja* as those between 0.6 and 0.8. Those below 0.6 are considered a patella *infera*. However, there is no consensus on its threshold in terms of deciding whether to perform the OWHTO as the procedure itself decreases patellar height. In a retrospective level IV evidence study

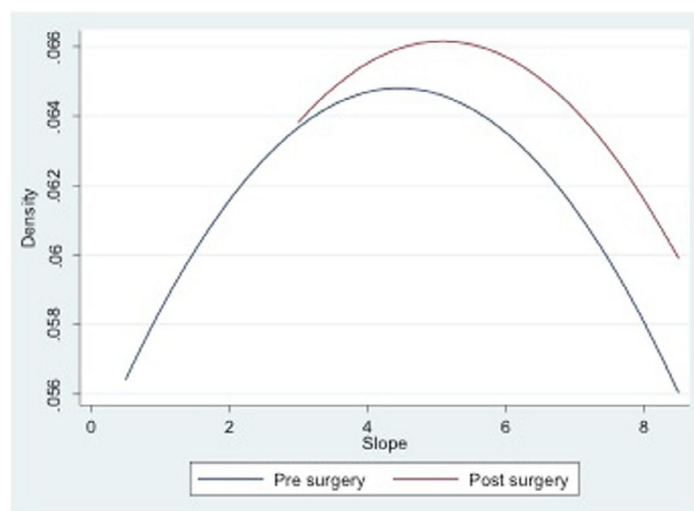


Fig. 6 Pre- and postoperative tibial slopes

of patients operated on with an OWHTO, El Amrani et al. (El-Amrani et al. 2010) observed that the worse functional results were associated with postoperative patella *infera*. Gaasbeek et al. (Gaasbeek et al. 2004) also found a significant reduction in the CDI after OWHTO. All the patients showed lowering of the patella after the osteotomy and a direct correlation was found between the degree of wedge opening and the decrease in patellar height. In the present study, the OWHTO-B was performed when possibility of postoperative CDI less than 0.8 was present due to the risk of excessive and somehow unpredictable degree of patellar lowering.

Kim et al., using an SPET/TC evaluation, have shown that an increased signal activity around the patellofemoral joint was present after an OWHTO even when a low decrease of postoperative Blackburne-Peel ratio was found (Kim et al. 2016). Kim et al. reported that 21.9% of the patients developed patellar OA and 41.2% developed a trochlear OA after OWHTO. Their findings were based on a second look arthroscopy made at 21 to 32 months of follow-up (Il et al. 2017). The prominent finding was that no correlation of this evolution with patellar height was found. The conclusion could be that even when the patellar height has not been changed, alterations in patellofemoral pressure forces happen after a OWHTO. That is also supported by a recent cadaveric biomechanical study (Kloos et al. 2018). In any case we must take into account that always a large deformity correction in medial open-wedge high tibial osteotomy may cause a degeneration of patellofemoral cartilage. (Otakara et al. 2019) in the present study an arthroscopic second look wasn't provide, but Kim in his study showed as well that 11.4% of the cases had postoperative anterior knee pain and among them all showed progressed OA on second look arthroscopy. Postoperative anterior knee pain was related to the ICRS grade of the patellofemoral joint at the time of second-look arthroscopy. In our study no patients complained about patellofemoral pain at the last follow up, neither the patients who reported patello-femoral discomfort before surgery. Finally, in their OWHTO series, Lee et al. have shown postoperative statistically significant changes in lateral patellar tilt (Lee et al. 2016). Even if they reported that this data has no clinical impact at 2 years follow-up, this mechanical alteration could as well explain patellofemoral cartilage subclinical alteration and patellofemoral pain at a longer term follow up. In the present study no significant alterations in postoperative lateral patellar tilt was detected at minimum 24 months follow up.

Several studies have shown that HTO might result in tibial slope changes. (Lu et al. 2018; Wu et al. 2017) in general, the posterior tibial slope increases after open-wedge high tibial osteotomies and decreases after the closed-wedge procedures. The increase in the tibial

slope might alter in situ cruciate ligament forces and influence knee stability (Ozel et al. 2015). Changes to the tibial slope might also accelerate the process of joint degeneration due to alterations in knee kinematics and biomechanics as it leads to higher tibiofemoral contact pressure on the anterior portion of the tibial plateau and decreased pressure on the posterior femoral condyle (Brinkman et al. 2008).

To maintain the posterior slope, it is suggested that the anterior opening of the osteotomy site should be half of the posterior opening of the wedge (Noyes et al. 2005). The current technique, on the other hand, avoids any increment in the tibial slope by creating a trapezoidal gap and first fixing the TT with an anteroposterior screw.

The main limitation of this study was the low number of patients and the lack of control group. However, it is the largest reported series on such technique. Another limitation is that the short follow-up did not allow for the assessment long-term functional and radiological outcomes. Notwithstanding, the purpose of the investigation was to rule out any immediate radiological flaws of this relatively new technique.

For that reason, we excluded patients with an incomplete postoperative radiographic evaluation. However, the latter could be considered as a selection BIAS.

Conclusions

Biplane OWHTO with a distal tuberosity osteotomy accurately corrected axial malalignment without changing patellar femoral height, lateral patellar tilt or the posterior tibial slope while providing improved knee function at short-term follow-up.

Abbreviations

CDI: Caton Deschamp Index; HSS: Hospital for Special Surgery; HTO: High tibial osteotomy; LPT: Lateral patellar tilt; OA: Osteoarthritis; OWHTO: Open wedge high tibial osteotomy; OWHTO-B: Biplane opening wedge high tibial osteotomy with a distal tuberosity osteotomy; SD: Standard deviation; TT: Tibial tubercle

Acknowledgements

We would like to thank Mr. Eric L. Goode for his help with the English correction and Mr. Felip A. Montobbio for his work in the illustration process.

Authors' contributions

All authors read and approved the final manuscript.

Ethics approval and consent to participate

All procedures performed in the present study were in accordance with the ethical standards of the institutional research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

Consent for publication

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Competing interests

On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Author details

¹CATME, Hospital Universitari Dexeus, UAB, Carrer de Sabino Arana, 5, Barcelona 08028, Spain. ²Department of Orthopaedic Surgery, Hospital de la Sta Creu i Sant Pau, UAB, Carrer de Sant Quintí, 89, Barcelona 08026, Spain. ³Department of Orthopaedic Surgery, Consorci Sanitari de l'Anoia, Hospital de Igualada, Av. Catalunya, 11, Barcelona, Spain. ⁴Department of Orthopaedic Surgery, Hospital del Mar. Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Passeig Marítim, 25, Barcelona 08003, Spain.

Received: 2 December 2018 Accepted: 12 February 2019

Published online: 28 February 2019

References

- Akizuki S, Shibakawa A, Horiuchi H, Yamazaki I, Horiuchi H (2008) The long-term outcome of high tibial osteotomy: a ten- to 20-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 90:592–596
- Amzallag J, Pujol N, Maqdes A, Beauflis P, Judet T, Catonne Y (2013) Patellar height modification after high tibial osteotomy by either medial opening-wedge or lateral closing-wedge osteotomies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21:255–259
- Bin SI, Kim HJ, Ahn HS, Rim DS, Lee DH (2016) Changes in patellar height after opening wedge and closing wedge high tibial osteotomy: a meta-analysis. *Arthroscopy* 32:2393–2400
- Bito H, Takeuchi R, Kumagai K, Aratake M, Saito I, Hayashi R, Sasaki Y, Aota Y, Saito T (2009) A predictive factor for acquiring an ideal lower limb realignment after opening wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17:382–389
- Brazier J, Migaud H, Gougeon F, Cotton A, Fontaine C, Duquenooy A (1996) Evaluation of methods for radiographic measurement of the tibial slope: a study of 83 healthy knees. *Rev Chir Orthop* 3:195–200
- Brinkman JM, Lobenhoffer P, Agneskirchner JD, Staubli AE, Wymenga AB, van Heerwaarden RJ (2008) Osteotomies around the knee: patient selection, stability of fixation and bone healing in high tibial osteotomies. *J Bone Joint Surg Br* 90:1548–1557
- Caton J, Deschamps G, Chambat P, Lerat JL, Dejour H (1982) Patella infera: apropos of 128 cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 68:317–325
- El-Amrani MH, Lévy B, Scharzycki S, Asselineau A (2010) Patellar height relevance in opening-wedge high tibial osteotomy. *Orthop Traumatol Surg Res* 96:37–43
- Ferner F, Lutter C, Dickschas J, Strecker W (2018) Medial open wedge vs. lateral closed wedge high tibial osteotomy - indications based on the findings of patellar height, leg length, torsional correction and clinical outcome in one hundred cases. *Int Orthop* [Epub ahead of print]
- Gaasbeek RD, Nicolaas L, Rijnberg WJ, van Loon CJ, van Kampen A (2010) Correction accuracy and collateral laxity in open versus closed wedge high tibial osteotomy. A one-year randomized controlled study. *Int Orthop* 34: 201–207
- Gaasbeek RD, Sonneveld H, van Heerwaarden RJ, Jacobs WCH, Wymenga AB (2004) Distal tuberosity osteotomy in open wedge high tibial osteotomy can prevent patella infera: a new technique. *Knee* 11:457–461
- Goutallier D, Delepine G, Debeyre J (1979) The patella-femoral joint in osteoarthritis of the knee with genu varus. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 65:25–31
- Habata T, Uematsu K, Hattori K, Kasanami R, Takakura Y, Fujisawa Y (2006) High tibial osteotomy that does not cause recurrence of varus deformity for medial gonarthrosis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14:962–967
- Hankemeier S, Mommsen P, Krettek C, Jagodzinski M, Brand J, Meyer C, Meller R (2010) Accuracy of high tibial osteotomy: comparison between open- and closed- wedge technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18:1328–1333
- Hui C, Salmon LJ, Kok A (2011) Long-term survival of high tibial osteotomy for medial compartment osteoarthritis of the knee. *Am J Sports Med* 39:64–70
- II KK, Kim DK, Song SJ, Lee SH, Bae DK (2017) Medial open-wedge high Tibial osteotomy may adversely affect the patellofemoral joint. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* 33:811–816
- Kim TW, Kim BK, Kim DW, Sim JA, Lee BK, Lee YS (2016) The SPECT/CT evaluation of compartmental Changes after open wedge high Tibial osteotomy. *Knee Surg Relat Res* 28:263–269
- Kim YM, Joo YB (2012) Patellofemoral osteoarthritis. *Knee Surg Relat Res* 24:193–200
- Kloos F, Becher C, Fleischer B, Feucht MJ, Hohloch L, Südkamp N, Niemeier P, Bode G. (2018) High tibial osteotomy increases patellofemoral pressure if adverted proximal, while open-wedge HTO with distal biplanar osteotomy discharges the patellofemoral joint: different open-wedge high tibial osteotomies compared to an extra-articular unloading device. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. (Epub, ahead of print). <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5194-x>
- Lee YS, Lee SB, Oh WS, Kwon YE, Lee BK (2016) Changes in patellofemoral alignment do not cause clinical impact after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24:129–133
- Lobenhoffer P, Van Heerwaarden R, Staubli A, Jakob R (2009) Osteotomies around the knee. In: AO Foundation publishing
- Lu J, Tang S, Wang Y et al (2018) Clinical outcomes of closing- and opening-wedge high Tibial osteotomy for treatment of anteromedial Unicompartmental knee osteoarthritis. *J Knee Surg* [Epub ahead of print]
- Noyes FR, Goebel SX, Wfest J (2005) Opening wedge tibial osteotomy: the 3-triangle method to correct axial alignment and tibial slope. *Am J Sports Med* 33:378–387
- Noyes FR, Mayfield W, Barber Westin SD, Albright JC, Heckmann TP (2006) Opening wedge high tibial osteotomy: an operative technique and rehabilitation program to decrease complications and promote early union and function. *Am J Sports Med* 34:1262–1273
- Otakara E, Nakagawa S, Arai Y et al (2019) Large deformity correction in medial open-wedge high tibial osteotomy may cause degeneration of patellofemoral cartilage: a retrospective study. *Medicine (Baltimore)* 98:14299
- Ozel O, Yucel B, Mutlu S, Orman O, Mutlu H (2015) Changes in posterior tibial slope angle in patients undergoing open-wedge high tibial osteotomy for varus gonarthrosis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* Mar 13. [Epub ahead of print]
- Poignard A, Flouzat Lachaniette CH, Amzallag J, Hernigou P (2010) Revisiting high tibial osteotomy: fifty years of experience with the opening-wedge technique. *J Bone Joint Surg Am* 92:187–195
- Rosenberg TD, Paulos LE, Parker RD, Coward DB, Scott SM (1988) The forty-five-degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 70:1479–1483
- Schallberger A, Jacobi M, Wahl P, Maestretti G, Jakob RP (2011) High tibial valgus osteotomy in unicompartmental osteoarthritis of the knee: a retrospective follow-up study over 13-21 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19: 122–127
- Shim JS, Lee SH, Jung HJ, Lee HI (2013) High tibial open wedge osteotomy below the tibial tubercle: clinical and radiographic results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21:57–63
- Stoffel K, Willers C, Korshid O, Kuster M (2007) Patellofemoral contact pressure following high tibial osteotomy: a cadaveric study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15:1094–1100
- Wu L, Lin J, Jin Z et al (2017) Comparison of clinical and radiological outcomes between opening-wedge and closing-wedge high tibial osteotomy: a comprehensive meta-analysis. *PLoS One* 9(12):e0171700

Submit your manuscript to a SpringerOpen® journal and benefit from:

- Convenient online submission
- Rigorous peer review
- Open access: articles freely available online
- High visibility within the field
- Retaining the copyright to your article

Submit your next manuscript at ► [springeropen.com](https://www.springeropen.com)

Resumen del artículo 2:

Título: *“A lower starting point for the medial cut increases the posterior slope in opening-wedge high tibial osteotomy: a cadaveric study”*

Introducción

La realización de una osteotomía valguizante de apertura tibial (OVAT) no está exenta de complicaciones. Las posibles modificaciones en la pendiente tibial posterior es una de las principales debido a su repercusión en la funcionalidad de los ligamentos cruzados. Hasta el momento de la realización de este estudio no existía información sobre la relevancia que tiene la distancia desde la interlínea articular hasta el sitio donde se inicia la osteotomía, y su eventual efecto en la pendiente tibial posterior (PTP) resultante.

Los objetivos del estudio fueron, por una parte, evaluar los efectos que produce la modificación del punto donde comienza la osteotomía en la cortical tibial medial (calculada como distancia desde la interlínea articular) y, por otra, la zona de introducción de la cuña de apertura en el defecto creado por la OVAT sobre la PTP.

Se hipotetizó que la distalización en el sitio donde comienza la osteotomía y las modificaciones en la localización de la cuña de apertura, tendrían un papel relevante en la PTP obtenida tras realizar una OVAT.

Material y métodos

Se realizó un estudio cadavérico en el que se utilizaron 12 rodillas congeladas, que se aleatorizaron en 2 grupos, dependiendo la distancia desde la interlínea articular donde comenzaba la osteotomía: 3 y 4 centímetros (cm) respectivamente. Previo a la intervención se midió radiológicamente la PTP. Una vez realizado el corte de la osteotomía, la cortical medial de la tibia se dividió en tres tercios: anteromedial, medial y posteromedial. Se colocó secuencialmente una cuña de apertura de 10° en cada uno de los tercios y luego se midió radiológicamente el efecto producido sobre la PTP en cada una de las localizaciones.

Resultados

En el grupo de 3 cm sólo se observaron cambios significativos ($p = 0.02$) cuando la cuña de apertura fue colocada en el tercio anteromedial de la tibia. En cambio, en el grupo 4 cm, se observaron cambios significativos al colocar la cuña de apertura tanto en el tercio medial ($p = 0.04$) como anteromedial ($p = 0.012$).

Conclusiones


Cuando se realiza una osteotomía valgizante de apertura tibial es posible lograr un correcto control de la PTP evitando un sitio distal para el inicio de la osteotomía y colocando la cuña de apertura en el tercio posteromedial de la tibia.

ORIGINAL PAPER

Open Access



A lower starting point for the medial cut increases the posterior slope in opening-wedge high tibial osteotomy: a cadaveric study

Juan Ignacio Erquicia^{1,2*} , Sergi Gil-Gonzalez³, Maximiliano Ibañez⁴, Joan Leal-Blanquet^{1,2}, Andrés Combalia^{5,6}, Juan Carlos Monllau^{4,7} and Xavier Pelfort³

Abstract

Purpose: The objective of this study was to evaluate the effects on the posterior tibial slope of different distances from the joint line to start the osteotomy and of varying the placement of the opening wedge in high tibial osteotomy.

Starting the osteotomy more distally and an incorrect location for the tibial opening wedge were hypothesized to increase the posterior tibial slope.

Methods: A cadaveric study was conducted using 12 knees divided into two groups based on the distance from the joint line to the start of the osteotomy: 3 and 4 cm. The preintervention posterior tibial slope was measured radiographically. Once the osteotomy was performed, the medial cortex of the tibia was divided into anteromedial, medial, and posteromedial thirds. A 10° opening wedge was sequentially placed in each third, and the effect on the posterior tibial slope was evaluated radiographically.

Results: Significant changes were observed only in the 3-cm group ($p = 0.02$) when the wedge was placed in the anteromedial zone. In contrast, in the 4-cm group, significant differences were observed when the opening wedge was placed at both the medial ($p = 0.04$) and anteromedial ($p = 0.012$) zones.

Conclusion: Correct control of the posterior tibial slope can be achieved by avoiding a low point when beginning the osteotomy and placing the opening wedge in the posteromedial third of the tibia when performing an opening-wedge high tibial osteotomy.

Level of evidence: Controlled laboratory study.

Keywords: Anterior cruciate ligament, Cadaveric study, Lateral knee X-ray, Medial starting point, Posterior tibial slope, Opening-wedge high tibial osteotomy, Osteotomy, Proximal anatomical axis

Background

Proximal high tibial osteotomy (HTO) is the most widely accepted treatment for physically active patients with initial stages of medial femorotibial compartment

degeneration and varus alignment of the limb [1]. Due to its particular advantages, opening-wedge high tibial osteotomy (OWHTO) has become more widely used in recent years than lateral closing-wedge osteotomies. Among these advantages, the lack of a need to perform an osteotomy of the fibular head with the subsequent risk of neurovascular injury [2] and less surgical exposure without muscle detachment have been cited [3]. In addition, the effect of OWHTO on the tibial metaphysis

*Correspondence: juanerquicia@yahoo.com

¹ Department of Orthopedic Surgery and Traumatology, Althaia Xarxa Assistencial Universitària de Manresa, Carrer Dr. Joan Soler, 1-3, 08243 Manresa, Spain

Full list of author information is available at the end of the article

comparatively facilitates the performance of future knee arthroplasty [4].

However, OWHTO is not without potential disadvantages, including an increase in the posterior tibial slope (PTS) and a decrease in the patellar height (PH) [5].

Recently, the effects of the PTS on the biomechanics and stability of the knee [6, 7] have been described, as well as the tension exerted on both native and reconstructed cruciate ligaments [8–10]. Clinical and biomechanical studies have reported that the tension on the native or reconstructed anterior cruciate ligament (ACL) increases significantly after minimal changes in the PTS of only 2°, increasing the risk of failure [11, 12]. It is believed that the triangular cross-section of the tibia at this level as well as the way the osteotomy gap is produced highly influence the increase in the PTS [13, 14]. However, the inclination of the osteotomy plane has not been investigated.

The objective of this study was to evaluate the effect on the PTS of modifying the distance from the joint line where the osteotomy begins in the medial cortex of the tibia and of varying the placement of the opening wedge from posterior to anterior.

An increase in the PTS was hypothesized to be observed both when distalizing the point where the osteotomy begins and when anteriorizing the tibial opening wedge.

Materials and methods

For this analysis, 12 cadaveric human knees were used, stored at a temperature of -18°C , and thawed at room temperature for 24 to 36 hours prior to the procedure, during which they were wrapped in gauze moistened with saline solution. Each knee included the distal two-thirds of the femur and the proximal two-thirds of the tibia and fibula. The knees were macroscopically evaluated and showed no signs of having undergone surgery. In addition, prior to use, the absence of local radiographical bone lesions or any significant bone malformation that might affect the anatomy was confirmed.

The knees were randomly divided into two groups based on the distance from the start of the osteotomy to the joint line: 3 and 4 cm (cm). All surgical procedures were performed by the same team of two senior orthopaedic surgeons.

The study was approved by the clinical research ethics committee of our institution (protocol number PR260/21-CSA PR22/2021).

Radiographic technique

Prior to performing the osteotomy, the radiographic procedure was standardized to achieve greater reproducibility of the technique and to ensure that no magnification

errors would influence the measurements [15]. Initially, each knee was placed extended in the anteroposterior (AP) plane, and the image was focused on the centre of the tibial shaft. One-third of the fibular head was covered by the lateral tibial plateau to ensure a correct AP view. This AP view was used to measure the width (mediolateral) of the tibial epiphysis by creating a parallel line that passed 5 mm distal to the joint space. In addition, the mediolateral size of the tibia was measured 3 and 4 cm from the joint line using a line parallel to that described above.

Subsequently, a strict lateral knee X-ray, where both femoral condyle contours perfectly overlapped, was performed at 30° of flexion. This projection was used to measure the PTS.

Radiological PTS evaluation

The medial and lateral tibial plateaus were initially identified to establish the PTS. The mean between the inclinations of both plateaus was used as previously published [16]. In measuring both tibial plateaus, the existence of osteophytes was excluded. In the same lateral view of the knee, the longitudinal component of the PTS was established by following the proximal anatomical axis of the tibia. For this analysis, two points were identified at 5 and 15 cm distal to the joint line. The midpoint of these levels, namely, the distance between the anterior and posterior cortex of the tibia, was identified. These midpoints were connected with a line that determined the longitudinal axis mentioned above and are shown in Fig. 1 [17, 18]. The same protocol was used for the radiographic technique and measurement of the PTS after osteotomy.

All radiographic measurements were performed by two orthopaedic surgeons using the picture archiving and communications system (PACS) (Centricity Enterprise Web V3.0; GE Healthcare).

Osteotomy technique

A 6- to 8-cm longitudinal skin incision was made in the anteromedial and proximal area of the leg midway between the anterior tuberosity and the posteromedial edge of the tibia. After dissecting the subcutaneous tissue, the tendons of the pes anserinus were incised longitudinally in a single plane at the level of the anterior margin of the medial collateral ligament. Both structures were carefully retracted posteriorly with the help of a Hohman retractor. The patellar tendon was identified and protected with a retractor. After the metaphyseal-diaphyseal transition zone of the tibia was identified, according to the randomization group (namely, 3 or 4 cm) (Fig. 2), a 2.4-mm Kirschner wire was introduced under fluoroscopic control (C-ARM Fluoroscopy 4400, FM Control, Alava, Spain) in the



Fig. 1 Tibial slope measurement on lateral radiographs. The tibial proximal anatomic axis (TPAA) is drawn connecting the midpoints between the anterior and posterior tibial cortex at five and 15 cm distances to the joint line. A reference line is drawn perpendicular to this at the level of the tibiofemoral joint. The mean between the inclinations of both plateaus is also shown. The angle of this line to the reference line is defined as the posterior tibial slope (PTS)

medial cortex aiming posterolaterally towards the proximal end of the fibular head. The tip of the wire was located 1.5 cm distal to the joint space and 1 cm medial to the lateral cortex. Following wire insertion, the osteotomy was performed, and special attention was paid to maintaining perpendicularity with respect to the sagittal long axis of the bone. Initially, the procedure was started with a saw and continued with a calibrated osteotome, with particular focus on completion of the osteotomy in the posterolateral region of the tibia and preserving one cm of bone in the lateral tibial cortex, which acts as a hinge [14, 19]. Subsequently, a lamina spreader was used to verify a sufficient opening to progressively place a 10° opening wedge (Newclip Technics, Haute-Goulaine, France).

After the anteromedial, medial and posteromedial (AM, M and PM, respectively) thirds of the medial cortex

of the tibia were identified, the same 10° opening wedge was placed in each third (Fig. 3), and radiographic projections were taken as explained previously (Fig. 4).

Internal fixation was not performed with plates since the objective of the study was to evaluate the possible variations in the tibial slope and not the stability provided by an implant.

Statistical analysis

A descriptive analysis of the study variables was performed. Radiographic parameters were measured twice by two independent orthopaedic surgeons at 6-week intervals. The inter- and intrarater reliability for the radiographic measurements was assessed by calculating the intraclass correlation coefficients (ICCs). The ICC values were interpreted as follows: $ICC < 0.40$, poor agreement; $0.4 > ICC < 0.75$, fair to good agreement; and $ICC > 0.75$, excellent agreement [20, 21].

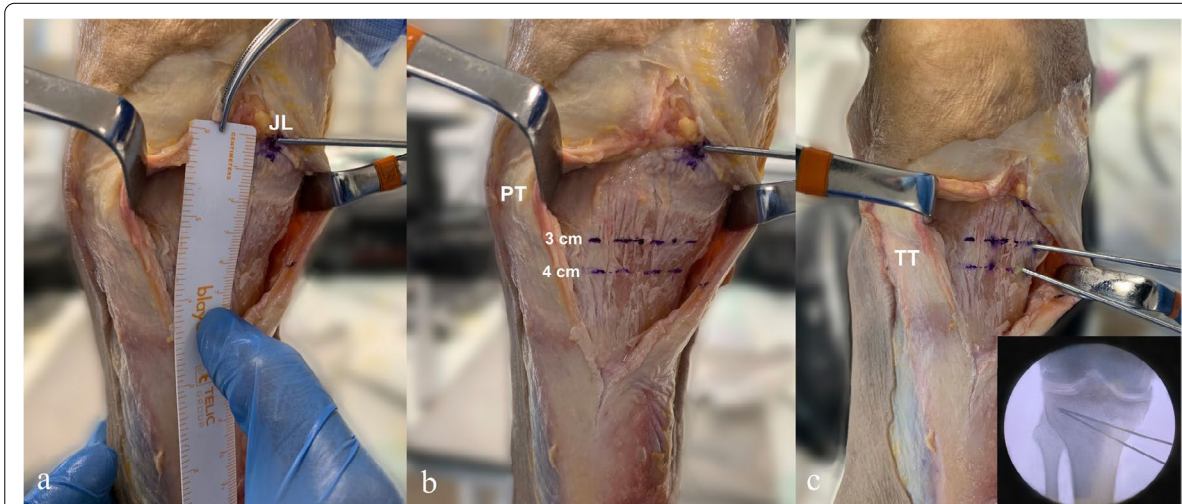


Fig. 2 Medial starting point. Anteromedial view of the right knee. **(a)** Kirschner wire located at the level of the joint line and measurement of the site where the osteotomy will begin. JL, joint line. **(b)** The methodology is graphed according to the sites where the osteotomy will begin according to randomization. PT, patellar tendon **(c)** Two 2.4-mm wires are introduced at 3 and 4 cm, which will serve as a guide for performing the osteotomy for the 3 and 4 cm groups, respectively. A wide dissection of skin and subcutaneous tissue is performed to facilitate understanding of the image. TT, tibial tuberosity

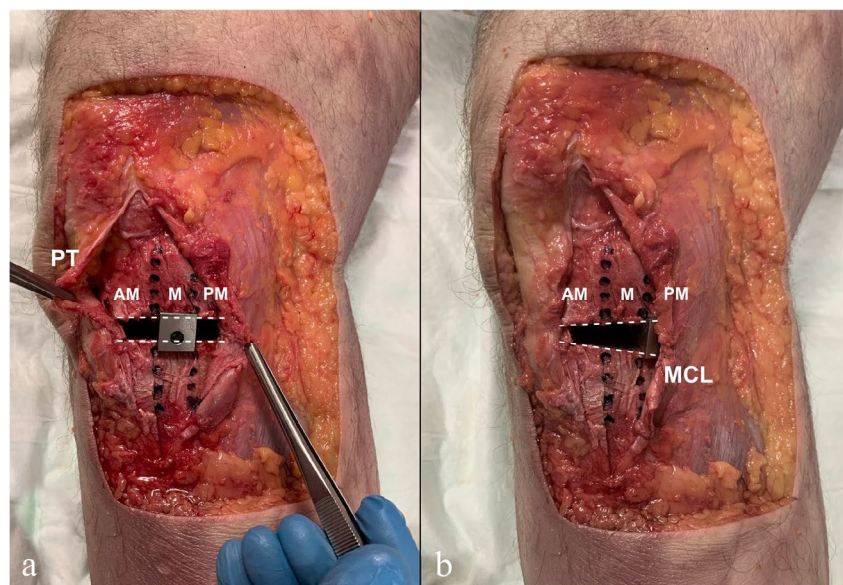


Fig. 3 Anteromedial view of the right knee, 4cm case. The placement of the opening wedge in the M third of the tibia generates a parallel gap **(a)**. In contrast, when the wedge is located in the PM third of the tibia, the result is an asymmetric gap. The extent to which the medial collateral ligament (MCL) may hinder the posterior placement of the opening wedge is also shown **(b)**. PT, patellar tendon; AM, anteromedial; M, medial; PM, posteromedial

The chi-square or Fisher's exact test was used to compare categorical variables, and the t test was used for continuous variables. Pearson's correlation coefficient was calculated to compare the PTS measurements at the

different sites where the opening was performed and the starting point of the osteotomy.

The sample size was calculated a priori. With six subjects per group ($n = 12$), a statistical power of 80% was

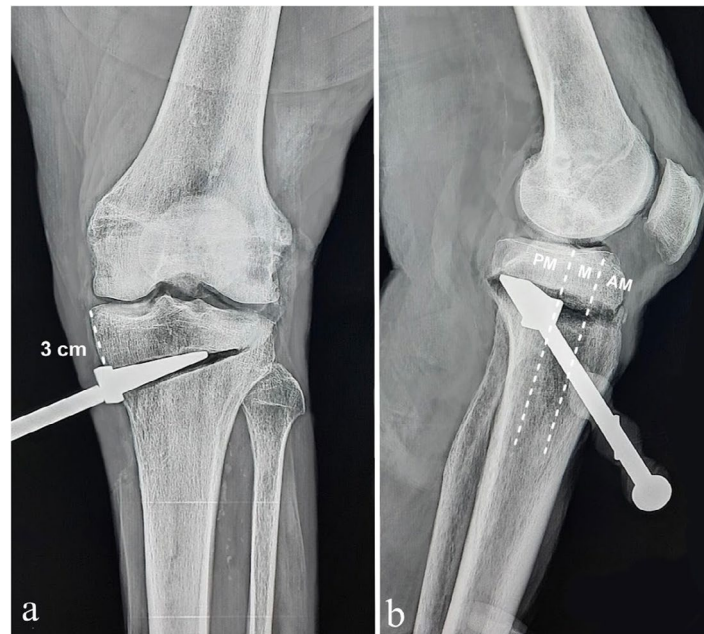


Fig. 4 Radiographic control in a left knee, 3 cm case. Anteroposterior view (a) and lateral knee projection (b) with an opening wedge in the PM third location. AM, anteromedial; M, medial; PM, posteromedial

obtained to detect a difference $\geq 2^\circ$ between the different tests [22], accepting an alpha risk of 0.05 and a beta risk of 0.2 in a bilateral comparison.

Because this is a cadaveric study, a loss to follow-up rate of 0% was estimated. All data were analysed with SPSS Statistics (v 21; IBM), with statistical significance was established for $p < 0.05$.

Results

Eight of the knees were obtained from women and four from men. Six were right knees, and six were left knees. The mean age was 65.3 ± 13.3 years. The overall descriptive analysis is presented in Table 1.

Table 1 Descriptive statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	SD
ML	12	77.6 mm	97.8 mm	88.6 mm	5.3 mm
ML 3 cm	12	68.8 mm	84.9 mm	77.3 mm	3.3 mm
ML 4 cm	12	54.3 mm	65.8 mm	59.6 mm	5.1 mm
PTS preop.	12	4.3°	12.1°	7°	2.3°
PTS PM	12	2.9°	12.5°	7.2°	2.4°
PTS M	12	4.4°	14.2°	8.6°	2.8°
PTS AM	12	6.9°	17.5°	11.2°	3.3°

ML, mediolateral; ML 3 cm, mediolateral 3 cm from the joint line; ML 4 cm, mediolateral 4 cm from the joint line; SD, standard deviation; PTS, posterior tibial slope; PM, posteromedial; M, medial; AM, anteromedial

Global measurement of the PTS (n = 12)

The mean preoperative PTS was not significantly different from the postoperative value when placing the opening wedge at the PM level (preoperative $7.0 \pm 2.3^\circ$ and postoperative $7.2 \pm 2.5^\circ$, $p = \text{n.s.}$). On the other hand, placement of the opening wedge at any other site resulted in significant changes at both the M and AM levels (postoperative M $8.7 \pm 2.8^\circ$, $p = 0.02$ and postoperative AM $11.2 \pm 3.3^\circ$, $p < 0.0001$). The remaining results from the global analysis and the relative differences are presented in Table 2 and Fig. 5.

PTS in the 3 cm group

Based on the analysis of the 3 cm group, placing the opening wedge in the PM ($p = \text{n.s.}$) or M ($p = \text{n.s.}$) zone

Table 2 Comparison of preoperative and global (3 & 4 cm, n = 12) postoperative PTS

	Mean PTS, SD	P value	Relative difference
Pre	$7 \pm 2.3^\circ$		
Post PM	$7.2 \pm 2.5^\circ$	Pre vs. post PM 0.7	2.9%
Post M	$8.7 \pm 2.8^\circ$	Pre vs. post M 0.02	24%
Post AM	$11.2 \pm 3.3^\circ$	Pre vs. post AM < 0.0001	60%

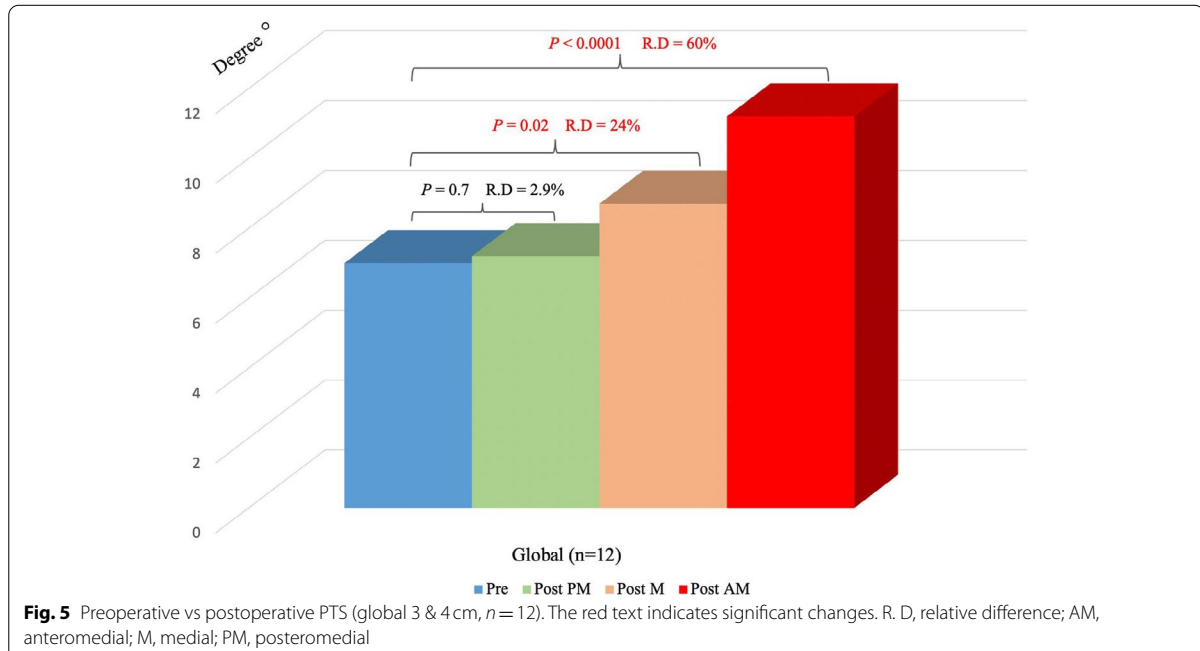


Table 3 Independent comparisons of preoperative and postoperative PTS in the 3 and 4 cm groups

		Mean PTS, SD	P value	Relative difference
3 cm	Pre	6.5 ± 1.9°		
	Post PM	6.7 ± 2.2°	Pre vs. post PM 0.75	3%
	Post M	7.6 ± 2.5°	Pre vs. post M 0.12	17%
	Post AM	10.3 ± 2.5°	Pre vs. post AM 0.0002	58%
4 cm	Pre	7.5 ± 2.8°		
	Post PM	7.7 ± 2.9°	Pre vs. post PM 0.88	3%
	Post M	9.8 ± 2.9°	Pre vs. post M 0.04	31%
	Post AM	12.2 ± 4°	Pre vs. post AM 0.01	63%

SD, standard deviation

did not significantly alter the resulting PTS, and a relative difference from the preoperative values of 3% and 17%, respectively, was observed (Table 3 and Fig. 6).

PTS in the 4 cm group

The preoperative PTS was only maintained when placing the opening wedge at the PM level ($p = n.s.$). Placement at the M ($p = 0.04$) and AM ($p = 0.012$) levels generated significant changes in the postoperative PTS. The relative differences from the preoperative value were 31 and 63%, respectively, as shown in Table 3 and Fig. 6.

Mediolateral measurement

The measured mediolateral size of the tibial epiphysis was not correlated with the magnitude of the postoperative modifications of the PTS.

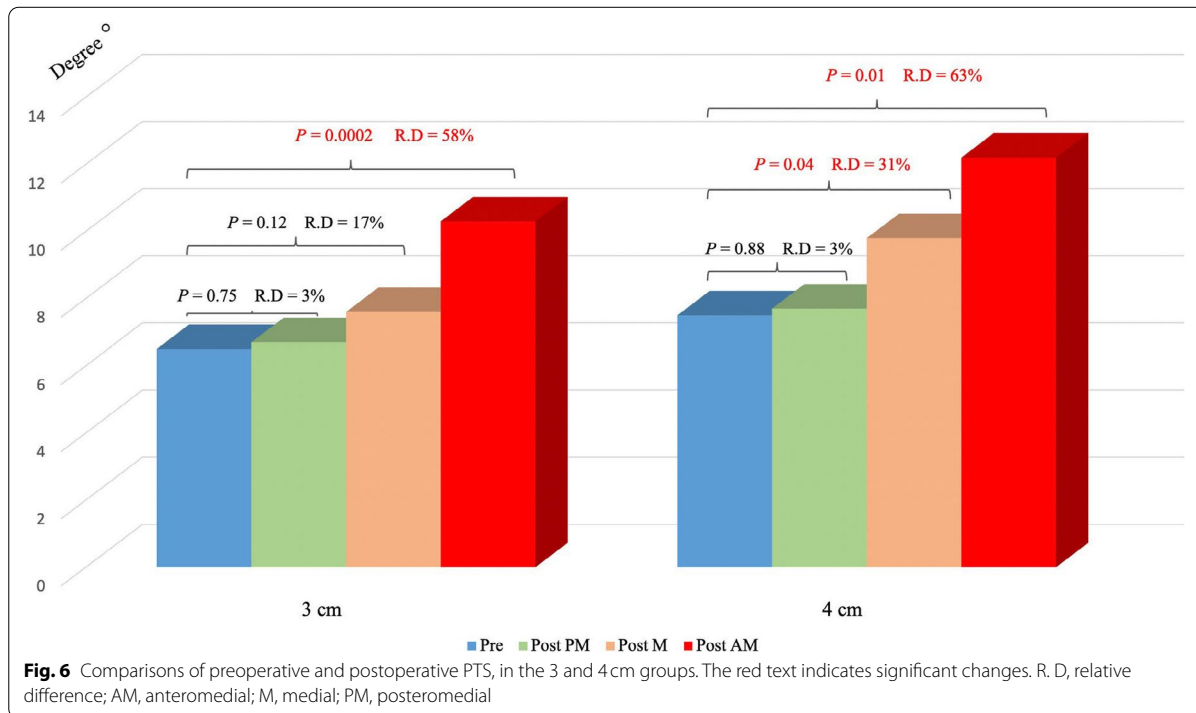
Measurement reliability

The interrater reliability of the pre- and postosteotomy PTS measurements was “excellent” and is shown in Table 4. The intrarater reliability was also considered “excellent”, with ICC values ≥ 0.91 for all measurements performed by both evaluators.

Discussion

The most relevant findings of this study reflect the impact on the PTS of distalizing the point where the osteotomy begins, since a greater distance between the beginning of the osteotomy and the joint line results in a greater risk of causing changes in the PTS. Another finding in this study is the importance of placing the opening wedge in the PM third of the tibia when performing an HTO, since significant changes in PTS were not detected in either group (3 or 4 cm) after the procedure. The results of the present study confirm the initial hypothesis.

As previously reported, the PTS tends to increase when performing OWHTO [5]. This increase in the inclination in the sagittal plane is transformed into a greater force of tibial displacement towards the anterior direction, increasing the demand on the

**Table 4** Interrater reliability

	Obs 1	Obs 2	ICC
PTS Pre	6.9 ± 2.5°	7.2 ± 2.5°	0.82 (95% CI 0.25–0.90)
PTS Post PM	6.8 ± 2.1°	7.6 ± 2.9°	0.92 (95% CI 0.73–0.98)
PTS Post M	8.4 ± 3°	9.0 ± 2.8°	0.94 (95% CI 0.81–0.98)
PTS Post AM	10.9 ± 3.6°	11.6 ± 3.1°	0.95 (95% CI 0.84–0.99)
ML	86.6 ± 3.5	90.1 ± 3.1	0.89 (95% CI 0.77–0.91)

PTS, posterior tibial slope; Pre, preoperative; Post, postoperative; PM, posteromedial; M, medial; AM, anteromedial; ML, mediolateral; Obs, observer; ICC, intraclass correlation coefficient

native ACL [23]. Likewise, evidence also supports the impact of the PTS on the ACL postreconstruction [24, 25].

A greater lateral PTS in patients who suffered early failure after ACL reconstruction versus those who had satisfactory results after the same reconstruction was shown by Christensen et al. [26, 27].

The role of the medial PTS as a predictive factor for ACL reconstruction failure is more controversial [28, 29]. However, different studies [30–32] are consistent with those published by Webb et al. [10]; in their study, a medial PTS > 12° was stated to increase the risk of failure after ACL reconstruction.

Furthermore, an iatrogenic increase in the PTS not only affects the native or reconstructed ACL but also, as Rodner et al. have shown, generates greater pressure in the posteromedial compartment [33].

According to the findings from the present study, the undesired effects on the ACL and the increased pressure on the posteromedial compartment observed after the increase in the PTS might be avoided by considering certain technical aspects during the performance of an OWHTO, such as the distance from the joint space where the osteotomy begins and the placement of the opening wedge in the PM third of the tibia.

Consistent with the data published by Rubino et al., performing the opening in the PM third of the tibia successfully avoids modifications in the PTS. The findings of our study show that as the opening wedge is moved to the M and AM thirds, the increases in the PTS are progressive (Table 3), similar to the study by Rubino et al. In their study, the placement of the wedge at the level of the M third also showed significant changes in the TS, although the authors did not specify the distance from the joint line where the osteotomy began [34]. According to the results obtained in our study, the height where the osteotomy begins plays a relevant role in the resulting PTS, since no significant differences in the PTS were observed when the opening was created in the medial third in the 3 cm group (preoperative PTS

of $6.5 \pm 1.9^\circ$ vs. postoperative PTS of $7.6 \pm 2.5^\circ$, relative difference 17%, $p = n.s.$). However, a significant increase in the PTS was observed when the osteotomy began 4 cm from the joint space and the opening was established at the level of the M third (preoperative PTS of $7.5 \pm 2.8^\circ$ vs. postoperative PTS of $9.8 \pm 2.9^\circ$, relative difference 31%, $p = 0.04$).

The findings presented in our study may be related to the three-triangle method published by Noyes et al. in 2005 [35]. In that study, the medial cortical tibia was established to have an angulation of 45° in the axial plane, and when creating the opening, the anterior gap was suggested to be half of the posterior gap. According to their published data, assuming a medial cortex of the tibia measuring 40 mm, a 10° increase in the PTS would be generated by an error of 5 mm in the size of the anterior gap. It was concluded by the authors that as a general rule, for a 40-mm medial cortex, each millimetre alteration in the opening gap results in a 2° increase in the PTS. It was also established that if the size of the medial cortex decreases to 20 mm, then each millimetre of error in the anterior opening gap generates a 4° increase in the PTS. According to the data from this study and the existing differences in the mediolateral distance at 3 and 4 cm in our series (Table 1), when selecting a distal site to begin the osteotomy, a smaller medial cortical bone is assumed, which is associated with a greater risk of producing increases in the PTS after minimal changes in the placement of the opening wedge [36].

Different authors mention the site they chose to begin the osteotomy, but to our knowledge, these different levels have not been compared with each other to date. Matar et al. preferred the metaphyseal-diaphyseal junction area, distal to the capsular insertion and 3 cm from the joint space, considering this site as the safest since they managed to place a retractor and protect the posterior neurovascular structures [37]. In contrast, Noyes FR et al. prefer starting at 3.5 cm [38], and other authors have started at 4 cm from the joint space [39].

The findings from the present study have an even more relevant implication for those cases where simultaneous ACL reconstruction associated with OWHTO is proposed. In these cases, it was suggested by Cantivalli et al. that OWHTO should begin 4 cm from the joint space to create a tibial tunnel of sufficient length and prevent it from starting within the osteotomy gap [39]. The lower starting point suggested by these authors could generate a clear undesired effect on the PTS if the surgeon does not maintain strict placement of the opening wedge at the PM level. In this context, the opening at the level of the M third would generate an increase in the PTS $> 2^\circ$, with all the consequences that this change would impose on the recent reconstruction of the ACL [10, 11].

Recently, in another cadaveric study [19], the effect on the PTS of an OWHTO in which the lateral hinge was located 1 cm distal to the standard position was analysed [1, 33, 40]. The authors of this study concluded that the distalization of the lateral hinge generated an increase in the PTS compared to the site defined as a standard to locate it. This distalization of the hinge not only affected the PTS but also generated a greater number of fractures in the lateral cortex of the tibia. These aforementioned changes were attributed by the authors to the decrease in the axial size of the tibia at that level. In our study, cases of fracture were not observed when the standard height of the lateral hinge was chosen. However, when the osteotomy was started 4 cm from the joint space, which represents a smaller ML distance, changes in the PTS occurred more easily, similar to the results published by Jo HS et al. [19].

This study is not without limitations. Because it was a cadaveric study, the number of subjects was limited. However, the number of specimens used is consistent with other cadaver studies focused on the analysis of the tibial slope, whose range is 8–16 knees [1, 13, 19]. Due to the characteristic bone quality of this sample, we did not propose the creation of openings of different amplitudes. These limitations were minimized by selecting the degree of opening based on the protocols used in other studies that analyse the PTS when performing an OWHTO [13]. In addition, because the specimens did not include the ankle joint, the PTS was measured on a lateral radiograph of the knee according to the proximal anatomic axis of the tibia [41]. However, with this methodology, no significant differences in the PTS should be observed if it is measured according to the complete anatomical axis of the tibia on full-length lateral radiographs [42]. Similarly, varus/valgus alignment could not be evaluated due to the lack of a complete limb and the impossibility of performing radiographs in the standing position [43].

Finally, and when also presenting the amputation in the proximal third of the femur, the possible relationship between the different changes produced in the PTS and the patellar height could not be studied due to the interruption of the extensor apparatus.

In terms of the clinical relevance of this work, both the site where the opening is performed and the corresponding wedge is placed and the distance from the joint line where the osteotomy will begin must be considered by the orthopaedic surgeon prior to surgery. In cases requiring an OWHTO associated with ACL reconstruction, the distalization of the site where the osteotomy begins potentially exerts a relevant effect on the PTS.

Conclusion

Correct control of the posterior tibial slope can be achieved by avoiding a low point when beginning the osteotomy and placing the opening wedge in the posteromedial third of the tibia when performing an opening-wedge high tibial osteotomy.

Abbreviations

HTO: high tibial osteotomy; OWHTO: opening-wedge high tibial osteotomy; PTS: posterior tibial slope; PH: patellar height; ACL: anterior cruciate ligament; cm: centimetres; AP: anteroposterior; AM: anteromedial; M: medial; PM: posteromedial; ICC: intraclass correlation coefficient; MRI: magnetic resonance imaging.

Acknowledgements

The authors thank to the Experimental Surgery Center and Radiology Department from Hospital Parc Taulí, Sabadell, for their special contribution in this paper. They also want to thank María Angela Zumel, Ph. D, Marta Banque, Ph. D, and Gaston Rodriguez Granillo, M. D, Ph.D, for assisting in the statistical analysis. Finally, they thank the institutional support from Newclip Technics (Haute-Goulaine, France), who provided the instrumentation required for completion of this study.

Authors' contributions

JIE designed the study and draft the manuscript. SG and JIE carried out the osteotomies. SG and MI performed the radiographic measurements. JCM and JLB co-analyzed the data and were major contributors in writing the manuscript. AC and XP co-designed the study and helped to draft the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

No funding of whatever form was provided for this study.

Availability of data and materials

The datasets used and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Declarations

Ethical approval and consent to participate

This study was approved by the corresponding clinical research ethics committee (protocol number PR260/21-CSA PR22/2021). For this type of study formal consent is not required.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Department of Orthopedic Surgery and Traumatology, Althaia Xarxa Assistencial Universitària de Manresa, Carrer Dr. Joan Soler, 1-3, 08243 Manresa, Spain. ²IMOVE, Mi Tres Torres, Av. Via Augusta, 281, 08017 Barcelona, Spain. ³Department of Orthopedic Surgery and Traumatology, Consorci Corporació Sanitària Parc Taulí. Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Parc del Taulí, 1, 08208 Sabadell, Spain. ⁴CATME. Hospital Universitari Dexeus, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Carrer de Sabino Arana 5, 08028 Barcelona, Spain. ⁵Departament de Cirurgia i Especialitats Medicoquirúrgiques, Facultat de Medicina i Ciències de la Salut, Universitat de Barcelona (UB), Carrer Casanova 143, 08036 Barcelona, Spain. ⁶Facultat de Medicina i Ciències de la Salut, Universitat de Barcelona (UB), Carrer Casanova 143, 08036 Barcelona, Spain. ⁷Department of Orthopedic Surgery and Traumatology, Hospital del Mar, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Passeig Marítim, 25, 08003 Barcelona, Spain.

Received: 30 September 2022 Accepted: 16 December 2022

Published online: 29 December 2022

References

- Wang JH, Bae JH, Lim HC, Shon WY, Kim CW, Cho JW (2009) Medial open wedge high tibial osteotomy: the effect of the cortical hinge on posterior tibial slope. *Am J Sports Med* 37:2441–2418
- Duivendoorden T, van Diggele P, Reijman M, Bos PK, van Egmond J, Bierma-Zeinstra SMA et al (2017) Adverse events and survival after closing- and opening-wedge high tibial osteotomy: a comparative study of 412 patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25(3):895–901
- Hankemeier S, Mommsen P, Krettek C, Jagodzinski M, Brand J, Meyer C et al (2010) Accuracy of high tibial osteotomy: comparison between open- and closed- wedge technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18:1328–1333
- Han JH, Yang JH, Bhandare NN, Suh DW, Lee JS, Chang YS et al (2016) Total knee arthroplasty after failed high tibial osteotomy: a systematic review of open versus closed wedge osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24(8):2567–2577
- Keliang W, Zeng J, Han L, Feng W, Lin X, Zeng Y (2021) Effect of the amount of correction on posterior tibial slope and patellar height in open-wedge high tibial osteotomy. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 29(3):9–12
- Dai Y, Cross MB, Angibaud LD, Hamad C, Jung A, Jenny J-Y (2018) Posterior tibial slope impacts intraoperatively measured mid-flexion anteroposterior kinematics during cruciate- retaining total knee arthroplasty. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 26(11):3325–3332
- Kang K-T, Kwon SK, Son J, Kwon O-R, Lee J-S, Koh Y-G (2018) The increase in posterior tibial slope provides a positive biomechanical effect in posterior-stabilized total knee arthroplasty. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 26(10):3188–3195
- Bernhardson AS, DePhillipo NN, Aman ZS, Kennedy MI, Dornan GJ, LaPrade RF (2019) Decreased posterior tibial slope does not affect post-operative posterior knee laxity after double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 47(2):318–323
- Bernhardson AS, DePhillipo NN, Daney BT, Kennedy MI, Aman ZS, LaPrade RF (2019) Posterior tibial slope and risk of posterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 47(2):312–317
- Webb JM, Salmon LJ, Leclerc E, Pinczewski LA, Roe JP (2013) Posterior tibial slope and further anterior cruciate ligament injuries in the anterior cruciate ligament–reconstructed patient. *Am J Sports Med* 41(12):2800–2804
- Bernhardson AS, Aman ZS, DePhillipo NN, Dornan GJ, Storaci HW, Brady AW et al (2019) Tibial slope and its effect on graft force in posterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med* 47(5):1168–1174
- Gwinner C, Weiler A, Roeder M, Schaefer FM, Jung TM (2017) Tibial slope strongly influences knee stability after posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 45(2):355–361
- Ruzbasky JJ, Arner JW, Dornan GJ, Provencher MT, Vidal AF (2021) Tibial slope can be maintained during medial opening-wedge proximal tibial osteotomy with sagittally oriented hinge, posterior plate position and knee hyperextension: a cadaveric study. *Arthroscopy* 27(7):2181–2188
- Teng Y, Mizu-Uchi H, Xia Y, Akasaki Y, Akiyama T, Kawahara S et al (2021) Axial but not sagittal hinge axis affects posterior tibial slope in medial open wedge high tibial osteotomy: a three-dimensional surgical simulation study. *Arthroscopy* 2:11. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2021.01.063>
- Franken M, Grimm B, Heyligers I (2010) A comparison of four systems for calibration when templating for total hip replacement with digital radiography. *J Bone Joint Surg Br* 92(1):136–141
- Utzschneider S, Goettinger M, Weber P, Horng A, Glaser C, Jansson V et al (2011) Development and validation of a new method for the radiologic measurement of the tibial slope. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 19(10):1643–1648
- Brazier J, Migaud H, Gougeon F, Cotten A, Fontaine C, Duquenois A (1996) Evaluation of methods for radiographic measurement of the tibial slope. A study of 83 healthy knees. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 82(3):195–200
- Dejour H, Bonnin M (1994) Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture. Two radiological tests compared. *J Bone Spont Surg Br* 76:745–749
- Jo HS, Park JS, Byun JH, Lee YB, Choi YL, Cho SH et al (2018) The effects of different hinge positions on posterior tibial slope in medial open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 26:1851–1858
- Cicchetti DV (1993) Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychol Assess* 6(4):284–290

21. Fleiss JL, Chilton NW, Park MH (1980) Inter- and intra-examiner variability in scoring supragingival plaque: II. *Stat An Pharmacol Ther Dent* 5(1-2):5-9
22. Yoo JH, Chang CB, Shin KS, Seong SC, Kim TK (2008) Anatomical references to assess the posterior tibial slope in total knee arthroplasty: a comparison of 5 anatomical axes. *J Arthroplast* 23(4):586-592
23. Imhoff FB, Comer B, Obopilwe E, Beitzel K, Arciero RA, Mehl JT (2021) Effect of slope and varus correction high tibial osteotomy in the ACL-deficient and ACL-reconstructed knee on kinematics and ACL graft force: a biomechanical analysis. *Am J Sports Med* 49(2):410-416
24. Kim JE, Won S, Jaffar MSA, Lee JI, Kim TW, Lee YS (2020) How does geometric change after open-wedge high tibial osteotomy affect anterior cruciate ligament status? *Knee* 27(3):940-948
25. Lin LJ, Akpinar B, Meislin RJ (2020) Tibial slope and anterior cruciate ligament reconstruction outcomes. *J Bone Joint Surg Rev* 8(4):e0184. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.19.00184>
26. Christensen JJ, Krych AJ, Engasser WM, Vanhees MK, Collins MS, Dahm DL (2015) Lateral tibial posterior slope is increased in patients with early graft failure after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 43(10):2510-2514
27. Mitchell JJ, Cinque ME, Dornan GJ, Matheny LM, Dean CS et al (2018) Primary versus revision anterior cruciate ligament reconstruction: patient demographics, radiographic findings, and associated lesions. *Arthroscopy* 34(3):695-703
28. Li Y, Hong L, Feng H, Wang Q, Zhang H, Song G (2014) Are failures of anterior cruciate ligament reconstruction associated with steep posterior tibial slopes? A case control study. *Chin Med J* 127(14):2649-2653
29. Su AW, Bogunovic L, Smith MV, Gortz S, Brophy RH, Wright RW et al (2020) Medial tibial slope determined by plain radiography is not associated with primary or recurrent anterior cruciate ligament tears. *J Knee Surg* 33(1):22-28
30. Lee CC, Youm YS, Cho SD, Jung SH, Bae MH, Park SJ et al (2018) Does posterior tibial slope affect graft rupture following anterior cruciate ligament reconstruction? *Arthroscopy* 34(7):2152-2155
31. Salmon LJ, Heath E, Akrawi H, Roe JP, Linklater J, Pinczewski LA (2018) 20-year outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autograft: the catastrophic effect of age and posterior tibial slope. *Am J Sports Med* 46(3):531-543
32. Stijak L, Herzog RF, Schai P (2008) Is there an influence of the tibial slope of the lateral condyle on the ACL lesion? A case-control study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 16(2):112-117
33. Rodner CM, Adams DJ, Diaz-Doran V, Tate JP, Santangelo SA, Mazzocca AD et al (2006) Medial opening wedge tibial osteotomy and the sagittal plane: the effect of increasing tibial slope on tibiofemoral contact pressure. *Am J Sports Med* 34(9):1431-1441
34. Rubino JL, Schoderbek RJ, Raymond Golish S, Miller MD, Baumfeld J (2008) The effect of plate position and size on tibial slope in high tibial osteotomy. *J Knee Surg* 21:75-79
35. Noyes FR, Goebel SX, West J (2005) Opening wedge tibial osteotomy: the 3-triangle method to correct axial alignment and tibial slope. *Am J Sports Med* 33:378-387
36. Weißenberger M, Wagenbrenner M, Schote F, Horas K, Schäfer T, Rudert M et al (2022) The 3-triangle method preserves the posterior tibial slope during high tibial valgus osteotomy: first preliminary data using a mathematical model. *J Exp Orthop* 9(1):29
37. Matar WY, Boscaroli R, Dervin GF (2009) Open wedge high tibial osteotomy: a roentgenographic comparison of a horizontal and an oblique osteotomy on patellar height and sagittal tibial slope. *Am J Sports Med* 37:735-742
38. Noyes FR, Mayfield W, Barber-Westin SD, Albright JC, Heckmann TP (2006) Opening wedge high tibial osteotomy: an operative technique and rehabilitation program to decrease complications and promote early union and function. *Am J Sports Med* 34(8):1262-1273
39. Cantavalli A, Rosso F, Bonasia D, Rossi R (2019) High tibial osteotomy and anterior cruciate ligament reconstruction/revision. *Clin Sports Med* 38(3):417-433
40. Moon SW, Park SH, Lee BH, Oh M, Chang M, Ahn JH et al (2015) The effect of hinge position on posterior tibial slope in medial open-wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy* 31(6):1128-1133
41. Konrads C, Ahrend MD, Beyer MR, Stöckle U, Ahmad SS (2021) Supracondylar rotation osteotomy of the femur influences the coronal alignment of the ankle. *J Exp Orthop* 8(1):32
42. Dean RS, DePhillipo N, Chahla J, Larson CM, Laprade RF (2021) Posterior tibial slope measurements using the anatomic axis are significantly increased compared with those that use the mechanical axis. *Arthroscopy* 37(1):243-249
43. Ahmad SS, Kerber V, Konrads C, Ateschrang A, Hirschmann MT, Stöckle U et al (2021) The ischiofemoral space of the hip is influenced by the frontal knee alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 29(8):2446-2452
44. Wang Z, Zeng Y, She W, Luo X, Cai L (2018) Is opening-wedge high tibial osteotomy superior to closing-wedge high tibial osteotomy in treatment of unicompartmental osteoarthritis? A meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Surg* 12(60):153-163

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Submit your manuscript to a SpringerOpen® journal and benefit from:

- Convenient online submission
- Rigorous peer review
- Open access: articles freely available online
- High visibility within the field
- Retaining the copyright to your article

Submit your next manuscript at ► [springeropen.com](https://www.springeropen.com)

Resumen del artículo 3:

Título: *“Open-wedge valgus high tibial osteotomy technique with inverted L-shaped configuration”*

Resumen

La OVAT es una alternativa válida para el tratamiento del genu varo sintomático. Sin embargo, este procedimiento presenta detalles a tener en cuenta a la hora de la planificación y ejecución de la técnica quirúrgica, ya que con el mismo existe una tendencia a generar una disminución en la altura *patellar* y un aumento de la pendiente tibial posterior (PTP). El aumento de la PTP se traduce en una mayor tensión sobre el LCA pudiendo comprometer su función. Por otro lado, la disminución de la altura *patellar* con frecuencia genera dolor en la cara anterior de la rodilla y con el tiempo, favorece la aparición de cambios degenerativos en la articulación femorrotuliana.

El objetivo de este estudio es describir una modificación en la técnica quirúrgica estándar cuando se realiza una OVAT. Consiste en realizar un doble corte en L-invertida, incluyendo de esta manera la tuberosidad anterior de la tibia en el fragmento proximal de la osteotomía, y evitar así una alteración en la altura *patellar*. Asimismo, se establece una secuencia de fijación específica de la misma que permite evitar un eventual aumento de la PTP.

Open-Wedge Valgus High Tibial Osteotomy Technique With Inverted L-Shaped Configuration



Juan C. Monllau, M.D., Ph.D., Juan I. Erquicia, M.D., Federico Ibañez, M.D., Maximiliano Ibañez, M.D., Pablo E. Gelber, M.D., Ph.D., Angel Masferrer-Pino, M.D., and Xavier Pelfort, M.D., Ph.D.

Abstract: High tibial osteotomy (HTO) is a useful alternative in the treatment of symptomatic varus malalignment. However, among its drawbacks is the tendency to decrease patellar height and increase the posterior tibial slope. The increased tibial slope increases anterior cruciate ligament tension and may compromise its function. On the other hand, patella baja often causes anterior knee pain and, over time, may favor degeneration of the patellofemoral joint. The aim of this study is to describe a technical modification of the standard open-wedge HTO. It consists of a double inverted L-shaped cut, which includes the anterior tibial tuberosity in the proximal fragment, to avoid any alteration of patellar height and control the eventual increase of the posterior tibial slope.

High tibial osteotomy (HTO) is usually performed as an effective surgical intervention for patients with medial knee osteoarthritis and varus malalignment. The procedure aims to realign the lower limb to redistribute

the weight-bearing load from the damaged medial compartment to the relatively unaffected lateral compartment of the knee.^{1,2} This technique has several advantages over the lateral closing-wedge HTO. One of them is to avoid carrying out a fibular osteotomy and, likewise, the associated risk of peroneal nerve complications.^{3,4} Several authors have reported superior clinical outcomes of the traditional supratubercular open-wedge HTO (OWHTO) over the infratubercular OWHTO because of the lower non-union rates.^{5,6} However, a supratubercular OWHTO leads to a decrease in patellar height and tends to increase the sagittal tibial slope.⁷ Some authors have recently advocated for the use of a standard infratubercular HTO in cases of patella infera with the aim to widen the indications for OWHTO.⁸

The aim of this work is to describe a technical modification of the standard OWHTO, consisting of a double inverted L-shaped cut (L-OWHTO). It includes the anterior tibial tuberosity in the proximal fragment and is designed for cases with a patella with a height that may lead to a low postoperative patella. Additionally, the described order of osteotomy fixation contributes to better control of the postoperative tibial slope.

Preoperative Study

- Full-weight-bearing long-leg standing anteroposterior radiographs were done to determine the angle of the extremity and the desired degree of correction (Fig 1). A postoperative anatomic

From the Department of Orthopaedic Surgery, Hospital del Mar (J.C.M.), ICATME, Hospital Universitari Dexeus (J.C.M., J.I.E., F.I., M.I., P.E.G., A.M-P., X.P.), and Department of Orthopaedic Surgery, Hospital de la Sta Creu i Sant Pau (P.E.G.), Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona; and Department of Orthopaedic Surgery, Consorci Sanitari de l'Anoia (X.P.), Igualada, Spain.

The authors report the following potential conflicts of interest or sources of funding: J.C.M. receives board membership fees from European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery, and Arthroscopy (ESSKA); is a paid consultant for ConMed Linvatec, Smith & Nephew, and Surgival; has provided expert testimony for Bioiberica; has grants/grants pending from Spanish Arthroscopy Association, Spanish Ministry of Health, Social Service and Equality; receives payment for lectures including service on speakers bureaus from ConMed Linvatec, Smith & Nephew, and Surgival; and receives payment for development of educational presentations ConMed Linvatec, Smith & Nephew, and Surgival. P.E.G. receives institutional support from the Spanish Arthroscopic Association, is a paid consultant for Conmed, and is an employee of Hospital Sant Pau, Barcelona, Spain. Full ICMJE author disclosure forms are available for this article online, as [supplementary material](#).

Received March 30, 2017; accepted August 7, 2017.

Address correspondence to Juan C. Monllau, M.D., Ph.D., Department of Orthopedic Surgery and Traumatology, Hospital del Mar, Universitat Autònoma de Barcelona, Passeig Marítim, 25, 08003 Barcelona, Spain. E-mail: jmonllau@parcdesalutmar.cat

© 2017 by the Arthroscopy Association of North America. Published by Elsevier. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

2212-6287/17445

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jats.2017.08.009>

e2162

J. C. MONLLAU ET AL.

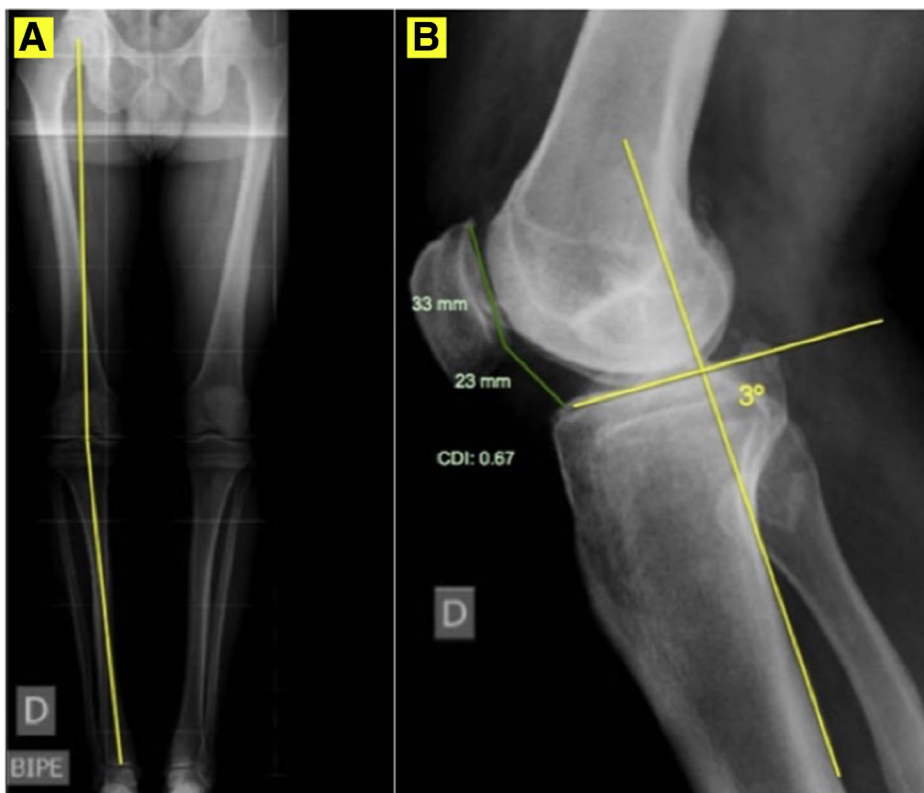


Fig 1. (A) Full-weight-bearing long-leg standing anteroposterior radiographs. (B) Measurement of the Caton-Deschamps index (CDI) and the posterior tibial slope (TS).

femoral-tibial axis of 5° to 8° valgus and a mechanical axis around the Fujisawa point was the goal.⁹

- The Schuss or Rosenberg radiographic view¹⁰ was used to evaluate the joint line space.
- A lateral non-weight-bearing radiography of the knee at 30° of flexion was used to measure the posterior tibial slope as well as the patellar height. The

posterior tibial slope was determined by the angle between a line passing through the posterior cortex of the tibia and tangent to the tibial plateau (parallel to the joint slope).¹¹ The patellar height was calculated with the Caton-Deschamps index (CDI) (Fig 1).

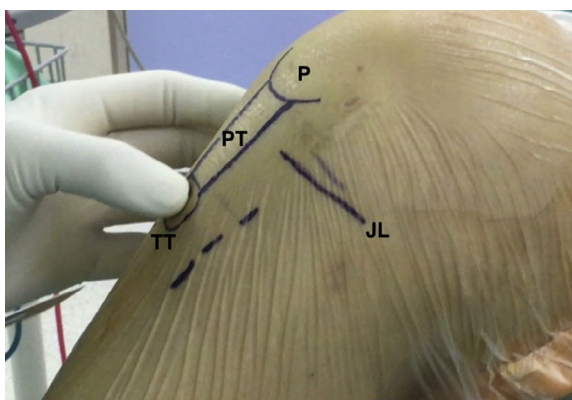


Fig 2. Right knee, medial view image showing patient positioning on the operating table. Longitudinal approach midway between the anterior tibial tuberosity and the posteromedial border of the tibia. (JL, joint line; P, patella; PT, patellar tendon.)

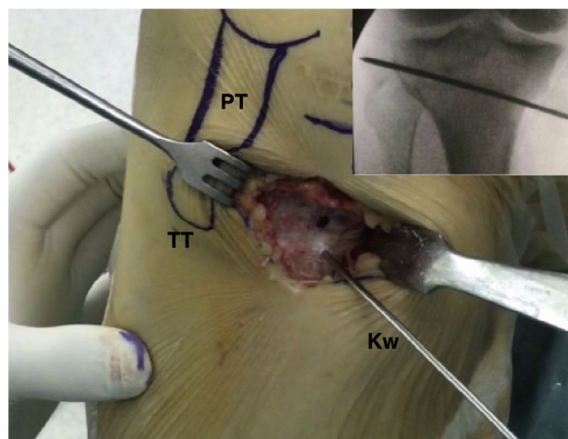


Fig 3. Fluoroscopic control imaging. Right knee, medial view. A 2.4-mm Kirschner guidewire is placed in the medial cortex of the tibia, aimed toward the tip of the fibular head in a proximal and posterolateral direction. To avoid peroneal nerve injury during this step, the tip of the K-guidewire should end 1 cm of the lateral tibial cortex.

Fig 4. (A) Right knee, medial view. The proposed biplane HTO. The horizontal cut (H) is similar to the standard cut. The vertical cut (V) of the osteotomy runs posterior to the anterior tibial tuberosity. (B) View of the 3 cuts taken from the medial side of the joint. (HTO, high tibial osteotomy.)

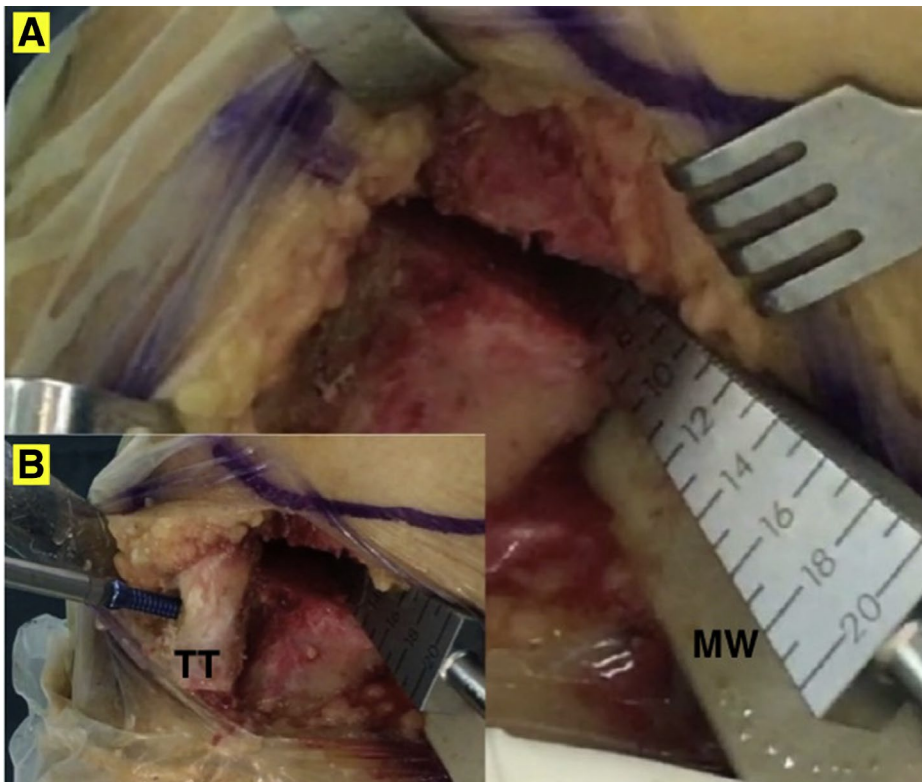
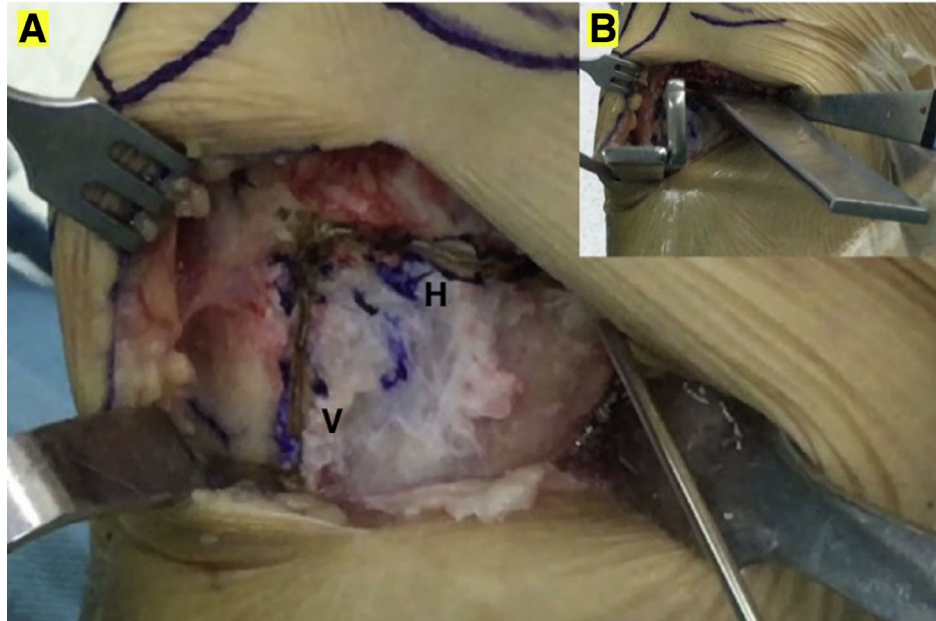


Fig 5. (A) Right knee, medial view. Correction is achieved using a metallic wedge that is introduced in the most posterior part of the osteotomy site. That creates a trapezoidal gap minimizing the risk of any tibial slope increment. (B) Anteroposterior cortical screw fixing the TT. This screw fixation prevents anterior tilting of the TT, which might lead to an increase of the posterior tibial slope. (TT, tibial tuberosity.)

e2164

J. C. MONLLAU ET AL.

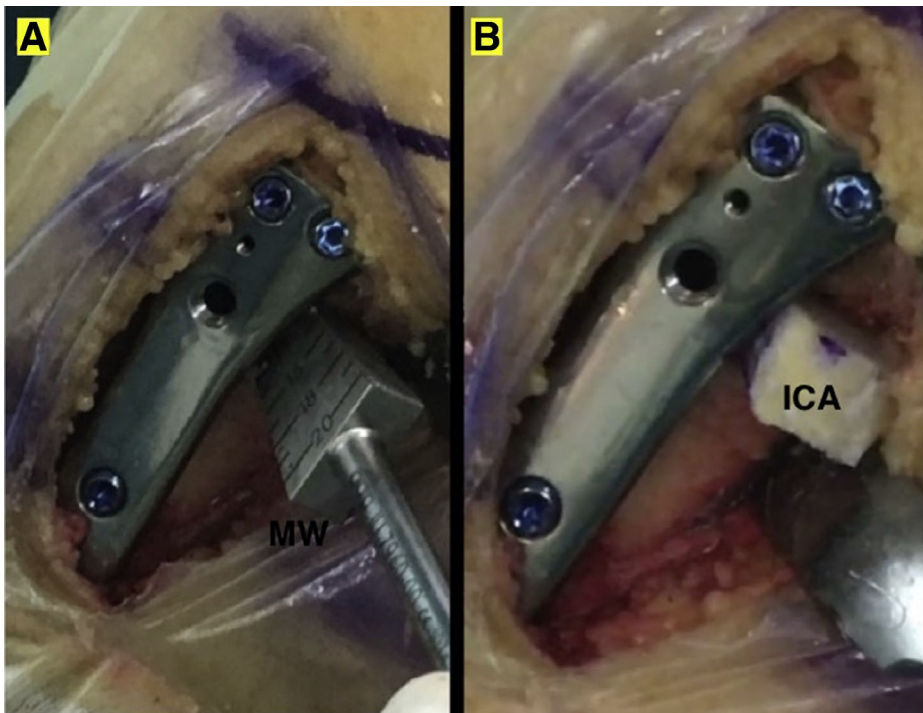


Fig 6. (A) Right knee, medial view. Locking LOQTEQ HTO plate. (B) Osteotomy gap filled with tricortical iliac bone crest allograft (ICA).

Based on this parameter, the indication for L-OWHTO was seen when the CDI was less than 1. In cases in which the CDI was between 1 and 1.2 but with a planned correction greater than 10° , the authors also chose the same technique.

Surgical Technique

The patient was positioned supine on the operating table with the knee at 90° of flexion, using a distal foot support and a lateral support for the thigh. Once an arthroscopic evaluation of the knee was done, a 6- to 7-cm longitudinal approach midway between the tibial tuberosity (TT) and the posteromedial border of the tibia was performed (Fig 2). The semitendinosus and gracilis tendons were released as was the distal insertion of the superficial medial collateral ligament. A Hohmann retractor was placed between the superficial medial collateral ligament and the posterior cortex of the tibia. The patellar tendon was identified and protected with a retractor.

Osteotomy

The L-OWHTO has 2 osteotomy planes. Whereas the horizontal cut is similar to the standard OWHTO, the vertical part of the osteotomy runs posterior to the anterior tibial tubercle. Under fluoroscopic control, a 2.4-mm Kirschner guidewire was placed in the medial cortex of the tibia at the metaphyseal-diaphyseal

transition zone aimed toward the tip of the fibular head in a proximal and posterolateral direction (Fig 3). To avoid peroneal nerve injury during this step, the tip of the K-guidewire should end at 1 cm of the lateral tibial cortex. The desired vertical section of the inverted L-osteotomy was marked with electrocautery and subsequently performed. The K-wire guided the sagittal cut performed in the posterior two-thirds of the tibia. Maintaining perfect perpendicularity to the main axis of the bone on the sagittal plane is crucial to preventing tibial slope modifications. This section of the osteotomy should end 1 to 2 cm medial to the lateral tibial cortex. The use of a calibrated saw and osteotome allows for reducing the use of an image intensifier and thus the dose of radiation.

The second section of the osteotomy was vertical on the coronal plane and it extended 3 to 4 cm distally, thereby keeping the TT together with the proximal segment of the osteotomized tibia. The TT fragment should maintain a thickness of about 10 mm in the most proximal part to minimize the risk of fracture (Fig 4). The desired correction was achieved using a metallic wedge introduced into the most posterior part of the osteotomy site. That created a trapezoidal gap that minimized the risk of any tibial slope increment (Fig 5). The one or two 3.5-mm anteroposterior cortical screws fixing the TT were secured before the osteotomy plate was put in place. This screw fixation prevents the

Table 1. Step-by Step Open-Wedge Valgus High Tibial Osteotomy With Inverted L-Shaped Configuration Technique

Step	Description
1	The patient is positioned supine at the operative table, with 90° knee flexion, using a distal foot support and a lateral support for the thigh.
2	A 6- to 7-cm longitudinal approach midway between the tibial tuberosity (TT) and the posteromedial border of the tibia was performed.
3	The semitendinosus and gracilis tendons are released as well as the distal insertion of the superficial medial collateral ligament is performed. The patellar tendon is identified and protected with a retractor.
4	Under fluoroscopic control, a 2.4-mm guiding Kirschner wire (K-wire) is placed in the medial cortex of the tibia at the metaphyseal-diaphyseal transition zone, aiming to the tip of the fibular head in a proximal and posterolateral direction.
5	The K-wire guided the sagittal cut performed in the posterior two-thirds of the tibia. This section of the osteotomy ended 1-2 cm medial to the lateral tibial cortex.
6	The second section of the osteotomy is vertical in the coronal plane, and it extends 3-4 cm distally, thereby maintaining the TT together with the proximal segment of the osteotomized tibia.
7	The desired correction is achieved using a metallic wedge introduced in the most posterior part of the osteotomy site, thereby creating a trapezoidal gap.
8	One or 2 anteroposterior 3.5-mm cortical screws fixing the TT is/are secured before the osteotomy plate is placed.
9	Then, the locking LOQTEQ HTO plate is accordingly fixed. This plate allows a fixation of the proximal segment of the osteotomy with 4 angular stability screws of 4.5 mm and 3 more in the distal fragment.
10	The osteotomy gap was filled with tricortical iliac crest allograft.

HTO, high tibial osteotomy.

anterior tilting of the TT that leads to an increase of the posterior tibial slope. Then, the locking LOQTEQ HTO plate (Aap Implantate AG, Berlin, Germany) was accordingly fixed. This plate allows for fixation of the proximal segment of the osteotomy with four 4.5-mm angular stability screws and 3 more in the distal fragment. To achieve correct adaptation of the plate to bone, the use of a 4.5-mm cortical screw in the first of the 3 distal holes is recommended. Once adapted to the tibia, the rest of the distal fixation can also be carried out with angular stability screws.

Once the fixation was finished, the opening wedge was removed. The osteotomy gap was then filled with tricortical iliac crest allograft (Fig 6). A step-by-step summary of this technique is provided in Table 1.

After the posterior Hohmann retractor was removed, the medial collateral ligament covered the osteotomy plate. Then, the semitendinosus and gracilis tendons were repaired. Suction drainage was used on the plane

of the osteotomy to minimize the risk of hematoma. Pearls and pitfalls to performing this surgical procedure are listed in Table 2.

Rehabilitation Protocol

Patients should start continuous passive motion of the knee as well as isometric quadriceps-strengthening exercises immediately after surgery. During the first 3 weeks, toe-touch partial weight bearing is allowed. Progress to full weight bearing can be achieved over 3 to 6 weeks as tolerated (Video 1).

Discussion

Traditional OWHTO techniques cause distalization and lateralization of the TT, resulting in a decrease of patellar height as suggested by Goutallier et al.¹² using a mathematical model. In a recent study, Amzallag et al.¹³ showed that patellar height decreased more than 20% in one-third of patients after an OWHTO. With the L-OWHTO technique, the tibial tuberosity remains attached to the proximal fragment of the osteotomy. Subsequently, the patellar height remained unchanged. Gaasbeek et al.,¹⁴ in a study with 17 patients, showed the results of an OWHTO preserving the TT attached to the proximal tibia and fixing the TT with an anteroposterior screw. However, those authors did so after the osteotomy plate was fixed. Thus, this anteroposterior screw could not have prevented any eventual anterior tilting of the proximal fragment. It is likely that the different sequencing of the osteotomy's fixation provides better contact between the tibial tuberosity and the distal tibial fragment.

Standard OWHTO is contraindicated in patients with patella baja or infera. The CDI defines patella baja as those between 0.6 and 0.8. Those below 0.6 are considered patella infera. In a retrospective Level IV study of patients who had undergone an OWHTO, El-Amrani et al.¹⁵ observed that the worse functional results were associated with postoperative patella infera. They observed that patellar height decreased by 10% to 15% after an OWHTO, but without correlation to the degree of axial correction. Gaasbeek et al.¹⁴ also found a significant reduction in the CDI after an OWHTO.

Several studies have shown that HTO might result in tibial slope changes. In general, the posterior tibial slope increases after open-wedge high tibial osteotomies and decreases after the closed-wedge type.¹⁶ The increase in tibial slope may result in a correction loss on the frontal plane¹⁷ and could alter in situ cruciate ligament forces and influence knee stability and kinematics.^{16,18-20} Changes to the tibial slope might also accelerate the process of joint degeneration

e2166

J. C. MONLLAU ET AL.

Table 2. Pearls, Pitfalls, and Risks

Pearls

- Double inverted L-shaped open-wedge HTO has 2 osteotomy planes. Whereas the horizontal cut is similar to the standard open-wedge HTO, the vertical part of the osteotomy runs posterior to the anterior tibial tubercle.
- The desired vertical section of the inverted L-osteotomy is marked with electrocautery and subsequently performed.
- It is crucial to maintain a perfect perpendicularity to the main axis of the bone in the sagittal plane so as to avoid tibial slope modifications.
- The use of a calibrated saw and osteotome allows reducing the use of image intensifier and thus the dose of radiation.
- The tibial tuberosity (TT) fragment should maintain a thickness of about 10 mm in the most proximal part to minimize the risk of fracture.
- The metallic wedge is placed in the most posterior part of the osteotomy site, creating a trapezoidal gap that minimizes the risk of tibial slope increment.
- One or 2 anteroposterior 3.5-mm cortical screws fixing the TT is/are secured before the osteotomy plate is placed, to prevent anterior tilting of the TT leading to an increase of the posterior tibial slope.
- To achieve a correct adaptation of the plate to bone, it is recommended to use a 4.5-mm cortical screw in the first of the 3 distal holes.
- A suction drainage is used to minimize the risk of hematoma.
- Patients started continuous passive motion of the knee as well as isometric quadriceps strengthening exercises immediately after surgery. During the first 3 weeks, toe-touch partial weight bearing is allowed. Progress to full weight bearing is accomplished over 3-6 weeks as tolerated.

Pitfalls and Risks

- Increased tibial slope increases anterior cruciate ligament tension and may compromise its function. Patella baja often causes anterior knee pain and may favor degeneration of the patellofemoral joint.
- There is a risk of fracture on the second vertical plane of the osteotomy and the lateral tibial cortex
- Stiffness can occur if the patient is not able to follow the established rehabilitation protocol.

HTO, high tibial osteotomy.

because of alterations in knee kinematics and its biomechanics.²¹

To maintain the posterior slope, there is the suggestion that the anterior opening of the osteotomy site should be half of the posterior opening of the wedge.²² The current technique avoids any increment in the tibial slope by creating a trapezoidal gap and first fixing the TT with an anteroposterior screw. A list of advantages and limitations of our procedure can be found in Table 3.

In conclusion, the OWHTO with a dihedral L-cut distal and posterior to the tibial tubercle accurately corrects axial malalignment without changing patellar height or the posterior tibial slope (Fig 7). The radiographic as well as the clinical results support the use of this technique in the treatment of medial compartment

knee osteoarthritis and varus malalignment in young and middle-aged patients with a normal to low patellar height.

Table 3. Advantages and Limitations

Advantages

- Simple and reproducible
- Unlike the lateral closing-wedge high tibial osteotomy, this technique avoids fibular osteotomy and the associated risk of peroneal nerve complications
- Achieves a correction of the axial malalignment without changing patellar height or posterior tibial slope
- Effective surgical intervention to treat medial compartment knee osteoarthritis and varus malalignment in young and middle-aged patients with a normal to low patellar height

Limitations

- Risk of fracture on the second vertical plane of the osteotomy if the thickness is less than 10 mm
- Risk of fracture on the lateral tibial cortex
- Soft tissue pain related to the osteotomy plate



Fig 7. Postoperative radiographic sagittal imaging. Note that neither modification in patellar height nor posterior tibial slope has been made.

References

- Hernigou P, Medevielle D. Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity: a ten to thirteen year follow up study. *J Bone Joint Surg Am* 1987;69:332-354.
- Poignard A, Flouzat Lachaniette CH, Amzallag J, Hernigou P. Revisiting high tibial osteotomy: Fifty years of experience with the opening-wedge technique. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92:187-195.
- Aglietti P, Buzzi R, Vena LM, Baldini A, Mondaini A. High tibial valgus osteotomy for medial gonarthrosis: a 12-21 year study. *J Knee Surg* 2003;16:21-26.
- Gaasbeek RD, Nicolaas L, Rijnberg WJ, van Loon CJ, van Kampen A. Correction accuracy and collateral laxity in open versus closed wedge high tibial osteotomy. A one-year randomized controlled study. *Int Orthop* 2010;34:201-207.
- Noyes FR, Mayfield W, Barber Westin SD, Albright JC, Heckmann TP. Opening wedge high tibial osteotomy: An operative technique and rehabilitation program to decrease complications and promote early union and function. *Am J Sports Med* 2006;34:1262-1273.
- Sprenger TR, Doerzbacher JF. Tibial osteotomy for the treatment of varus gonarthrosis. Survival and failure analysis to twenty-two years. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85:469-474.
- Akizuki S, Shibakawa A, Horiuchi H, Yamazaki I, Horiuchi H. The long-term outcome of high tibial osteotomy: A ten- to 20-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 2008;90:592-596.
- Shim JS, Lee SH, Jung HJ, Lee HI. High tibial open wedge osteotomy below the tibial tubercle: Clinical and radiographic results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013;21:57-63.
- Habata T, Uematsu K, Hattori K, Kasanami R, Takakura Y, Fujisawa Y. High tibial osteotomy that does not cause recurrence of varus deformity for medial gonarthrosis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:962-967.
- Rosenberg TD, Paulos LE, Parker RD, Coward DB, Scott SM. The forty-five-degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 1988;70:1479-1483.
- Brazier J, Migaud H, Gougeon F, Cotton A, Fontaine C, Duquenois A. Evaluation of methods for radiographic measurement of the tibial slope: A study of 83 healthy knees. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1996;82:195-200.
- Goutallier D, Delepine G, Debeyre J. The patella-femoral joint in osteoarthritis of the knee with genu varum. *Revue de Chirurgie Orthopedique* 1979;65:25-31.
- Amzallag J, Pujol N, Maqdes A, Beaufile P, Judet T, Catonne Y. Patellar height modification after high tibial osteotomy by either medial opening-wedge or lateral closing-wedge osteotomies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013;21:255-259.
- Gaasbeek RD, Sonneveld H, van Heerwaarden RJ, Jacobs WCH, Wymenga AB. Distal tuberosity osteotomy in open wedge high tibial osteotomy can prevent patella infera: A new technique. *Knee* 2004;11:457-461.
- El-Amrani MH, Lévy B, Scharycki S, Asselineau A. Patellar height relevance in opening-wedge high tibial osteotomy. *Orthop Traumatol Surg Res* 2010;96:37-43.
- Ozalay M, Ozkoc G, Circi E, et al. The correlation of correction magnitude and tibial slope changes following open wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008;16:948-951.
- Asada S, Akagi M, Mori S, Matsushita T, Hasimoto K, Hamanishi C. Increase in posterior tibial slope would result in correction loss in frontal plane after medial open wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012;20:571-578.
- El-Azab H, Halawa A, Anetzberger H, Imhoff AB, Hinterwimmer S. The effect of closed- and open-wedge high tibial osteotomy on tibial slope: A retrospective radiological review of 120 cases. *J Bone Joint Surg* 2008;90:1193-1197.
- Ozel O, Yucel B, Mutlu S, Orman O, Mutlu H. Changes in posterior tibial slope angle in patients undergoing open-wedge high tibial osteotomy for varus gonarthrosis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;25:314-318.
- Lustig S, Scholes CJ, Costa AJ, Coolican AJ, Parker DA. Different changes in slope between the medial and lateral tibial plateau after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013;21:32-38.
- Brinkman JM, Lobenhoffer P, Agneskirchner JD, Staubli AE, Wymenga AB, van Heerwaarden RJ. Osteotomies around the knee: Patient selection, stability of fixation and bone healing in high tibial osteotomies. *J Bone Joint Surg Br* 2008;90:1548-1557.
- Noyes FR, Goebel SX, Wfest J. Opening wedge tibial osteotomy: The 3-triangle method to correct axial alignment and tibial slope. *Am J Sports Med* 2005;33:378-387.



DISCUSIÓN

7

DISCUSIÓN

7

Los principales hallazgos de esta tesis doctoral se basan en los resultados obtenidos tras realizar una OVAT-L, mediante la cual se logra corregir la alineación de la extremidad en el plano coronal de manera efectiva, sin generar cambios radiológicos a nivel de la articulación femorrotuliana y manteniendo la PTP sin modificaciones. Con la aplicación de la técnica descrita los pacientes tuvieron una evolución clínica satisfactoria en un seguimiento mínimo a 24 meses. El índice de complicaciones fue bajo y no se presentaron problemas relacionados con la consolidación de la osteotomía.

Complementariamente, y fruto del estudio de laboratorio desarrollado en cadáver, se obtuvieron hallazgos significativos sobre la relevancia del sitio de entrada donde comienza la osteotomía en la cortical medial de la tibia. Se observó que al distalizar el punto de comienzo de la osteotomía en referencia a la interlínea articular, aparece un mayor riesgo de generar modificaciones de la PTP tras la osteotomía. Otro hallazgo de esta tesis doctoral es la importancia de la localización de la cuña de apertura en el tercio posteromedial de la tibia, ya que de esta manera no se producen modificaciones en la PTP tras el procedimiento. La trascendencia de esta localización posteromedial adquiere aún más relevancia cuando se decide distalizar el sitio de entrada de la osteotomía (por ejemplo, en casos de reconstrucciones concomitantes del LCA), debido a que una mínima anteriorización de la cuña tendrá un mayor impacto en el aumento de la PTP. Los hallazgos presentados confirman las hipótesis planteadas inicialmente.

La OVAT-L presentada en esta tesis, para la cual se utiliza una secuencia de fijación específica, permite controlar dos factores fundamentales que suelen verse afectados al realizar una OVAT, como son la altura *patellar* y la pendiente tibial posterior. Estos factores son el centro principal de estudio en esta tesis doctoral.

Las modificaciones de la altura *patellar* y la PTP generan cambios degenerativos femorrotulianos, dolor, afectación biomecánica del pivote central, y una mayor tasa de conversión a PTR tras la osteotomía.^{110,111,120,121}

Altura *patellar*

Respecto a la altura *patellar*, la ventaja que aporta la OVAT-L en comparación con la OVAT se basa en que la primera mantiene la tuberosidad anterior de la tibia unida al segmento proximal de la osteotomía. De esta manera se evita la distalización y lateralización de la TAT, que se traduce en una disminución de la altura *patellar*, como describió Goutallier, en un modelo matemático.¹²² En la misma línea, Amzallag y cols. compararon las modificaciones generadas en la altura *patellar* al realizar una osteotomía valgizante de cierre proximal respecto de una de apertura. Estos autores vieron que mientras en las primeras no se producían modificaciones significativas, un tercio de los pacientes en los que se realizó una OVAT sufrían una disminución del 20% de la altura *patellar*.¹²³ Diversos autores han hecho mención a las ventajas que aportan las osteotomías de cierre respecto a la conservación de la altura *patellar*, aunque sin lograr un acuerdo completo en si esta distancia aumenta¹²⁴ o se mantiene sin modificaciones.¹²⁵ En cambio, muchos estudios coinciden en que se produce una disminución de esta altura al realizar una OVAT.^{30,47,126,127}

La disminución en el ICD se hace más significativa a medida que aumenta la corrección realizada en el plano coronal.¹²³ Esto podría considerarse una ventaja de la OVAT-L respecto a la OVAT, ya que la primera evita modificaciones en la altura *patellar*, independientemente del grado de corrección realizado. Cabe destacar en esta instancia, que el objetivo de una OVAT-L no es generar un aumento de la altura *patellar*, ya que durante el procedimiento esta altura *patellar* permanece constante. Es por esto, que la técnica no se recomienda en casos de *patella* baja (ICD < 0.6), en estas ocasiones es preferible asociar a la OVAT una osteotomía independiente de ascenso de la TAT.¹²⁸

Gaasbeek y cols. publicaron años atrás, una modificación técnica de la OVAT que incluía también la TAT en el segmento proximal de la osteotomía. A diferencia de la secuencia de fijación utilizada en la OVAT-L presentada en esta tesis, estos autores describieron un orden de fijación inverso, recomendando realizar inicialmente la fijación de la osteotomía de apertura, y posteriormente la fijación anteroposterior de la TAT al segmento distal de la osteotomía. Siguiendo el orden de fijación propuesto por estos autores, la fijación anteroposterior no tendría un rol relevante en el control de la PTP, ya que los segmentos proximal y distal de la osteotomía están ya fijados. Desafortunadamente no aportaron

información sobre la PTP pre y postoperatoria, ya que el estudio se centró únicamente en el análisis de la altura *patellar*. En esta serie se observaron complicaciones a nivel de la TAT en 2 de 17 pacientes, produciéndose una fractura en uno de ellos y un retardo de consolidación en otro.¹²⁹ Los resultados de la presente tesis, publicados por Erquicia y cols., justificarían la realización de un orden de fijación inverso al publicado por Gaasbeek y cols. Con el orden propuesto en esta tesis se favorece, por un lado, la basculación anterior del fragmento proximal de la osteotomía (efecto anti-pendiente del tornillo anteroposterior colocado primero) y, por otro, se evita ejercer una fuerza mayor a la tolerada sobre la TAT, disminuyendo la posibilidad de una fractura a este nivel.^{130,131} Además, siguiendo esta secuencia se obtiene un mayor contacto entre la TAT y el segmento distal de la osteotomía, favoreciendo la integración ósea, como atestigua la inexistencia de pseudoartrosis de la TAT en esta serie.¹³⁰

Shim y cols. propusieron realizar la OVAT infratuberositaria, por debajo de la TAT, para evitar las alteraciones en la altura *patellar* atribuidas a la OVAT supratuberositaria.¹³² La realización de este tipo de osteotomías ha sido históricamente reservada para pacientes con fisis abiertas, debido a que la tibia en esta zona tiene una mayor proporción de hueso cortical y un área de sección transversal menor, al compararla con la zona supratuberositaria, lo que se traduce en un proceso de curación más lento.^{63,133} A pesar de esto, los autores presentan un solo retardo de consolidación (sobre un total de 39), aunque destacan las características de su serie, con una edad media de 26 años (rango 16-45) y un IMC de 20.6 (rango 16.2 - 25.2). Aunque todos los pacientes de la serie presentaban una deformidad en varo sintomática, la mayoría de ellos tenía la superficie condral conservada, por lo que el objetivo fue lograr un eje postoperatorio neutro (normocorrección).¹³⁴ Por este motivo, la apertura realizada en todos los pacientes del citado estudio osciló entre 5° y 7.5° (43% y 57% de los pacientes, respectivamente), y se utilizó injerto tricortical autólogo de cresta ilíaca.¹³² Los autores justificaron la elección de esta técnica por el valor medio preoperatorio de altura *patellar* que era de 0.7, según el índice de Insall - Salvati.¹³⁵

Atendiendo al ICD, se define como *patella* baja cuando el valor es < 0 o $= a 0,6$. Valores inferiores contraindicarían, como se mencionó anteriormente, la realización tanto de una OVAT como de su variante biplanar en "L". En cambio, no está definido con certeza cuál es el valor por debajo del que se debería evitar la realización de una OVAT y a partir del cual debería optarse por realizar una OVAT-L. Diferentes autores han publicado una correlación directa entre el grado de apertura realizado y la disminución de la altura *patellar*.^{123,126} En uno de los trabajos de esta tesis, se realizó una OVAT-L cuando los pacientes tenían un ICD entre 0,6 y 1, y cuando presentaban un ICD entre 1 y 1,2 pero se planeaba realizar una corrección $> a 10^\circ$.

Otakara y cols. analizaron de manera retrospectiva la aparición o progresión de la enfermedad degenerativa a nivel de la articulación femorrotuliana tras realizar una OVAT. El posible daño condral fue valorado artroscópicamente en dos momentos, al realizar la osteotomía y al retirar el material de osteosíntesis. Los pacientes fueron divididos en dos grupos, según la conservación de la articulación o la aparición/aumento de signos degenerativos locales. Al analizar las variables que podían estar relacionadas con la progresión degenerativa, encontraron una clara relación entre el avance de la enfermedad y la realización de una corrección del *mMPTA* $> 10^\circ$. Los autores afirmaron que estos cambios no se correlacionaron con diferencias clínicas entre ambos grupos, aunque los resultados fueron presentados con seguimiento a corto plazo.¹³⁶

Es posible que puedan detectarse cambios intraarticulares precoces con mínimas alteraciones de la altura *patellar*. En un estudio con TC/SPECT, Kim y cols. observaron un aumento en las cargas soportadas por la articulación FP en el 30% de los pacientes intervenidos de una OVAT al año postoperatorio.¹²¹ A la luz de los resultados, los autores sugirieron que debía prestarse especial atención a la altura *patellar* preoperatoria y al grado de corrección a realizar.

Recientemente, un análisis biomecánico cadavérico, analizó comparativamente el efecto de realizar una OVAT biplanar, evaluando el efecto generado sobre la articulación femorrotuliana cuando la osteotomía vertical se realizaba hacia proximal (*cut up*) o distal (*cut down*) desde la TAT, manteniendo ésta unida al segmento distal o proximal de la osteotomía, respectivamente. Los autores confirmaron las hipótesis planteadas en el estudio, ya que observaron que al mantener la TAT unida al segmento distal de la osteotomía, aumentaban las presiones a nivel femorrotuliano en diferentes grados de flexión, tanto al realizar aperturas tibiales de 5° como aún más, al realizarlas de 10° . De manera opuesta, cuando se realizaba una diseño similar a la OVAT-L descrita en esta tesis, los valores de presión femorrotuliana no sólo no aumentaban, sino que disminuían con respecto a la situación preintervención. Los autores atribuyeron este efecto a la mínima proximalización/anteriorización que se produce en la *patella* luego de este procedimiento.¹³⁷ En la línea de estos mismos hallazgos, Il y cols., evidenciaron cambios condrales a nivel femorrotuliano luego de realizar una OVAT, que fueron registrados de manera artroscópica en el momento de retirar la placa que estabilizaba la osteotomía.¹²⁰ El 21,9% de los pacientes desarrollaron cambios en la *patella* y el 41,2% en la tróclea femoral. El hallazgo más relevante de este estudio fue que no se encontró relación entre la aparición de signos degenerativos y la altura de la rótula. Los autores sugirieron que la aparición de los cambios degenerativos era debida al aumento de presiones femorrotulianas que se producen tras la OVAT, cuando la TAT se mantiene unida al segmento distal de la osteotomía. Estos resultados se alinean con

los obtenidos por Kloos y cols. en un modelo biomecánico cadavérico que se mencionó previamente.¹³⁷ En la presente serie de OVAT-L, no hubo ningún paciente que refiriera dolor anterior de rodilla en el postoperatorio, incluyendo aquellos que habían referido cierto grado de malestar preoperatorio en esa zona.

Gaasbeek y cols.¹³⁸ y Lee y cols.¹³⁹ analizaron en un modelo cadavérico y en una serie clínica, respectivamente, las repercusiones de realizar una OVAT sobre la cinemática de la articulación femorrotuliana. Ambos estudios coincidieron en que este tipo de procedimiento tiende a disminuir la inclinación rotuliana lateral y reduce la rotación *patellar* medial. La explicación de esta disminución fue que tras la lateralización de la TAT producida por la OVAT, la faceta lateral de la rótula soporta mayor presión contra la tróclea lateral del fémur, generando una inclinación rotuliana medial. Además, como el tendón del cuádriceps persiste traccionando en la misma dirección, la lateralización de la TAT induce la rotación lateral de la *patella*, reduciendo la rotación medial natural de la misma.¹³⁸ Lee y col. no evidenciaron ninguna repercusión clínica a los 2 años de seguimiento, pero consideraron que esto podría explicar la alteración subclínica que sufre la articulación femorrotuliana y la aparición de dolor anterior de rodilla en un seguimiento a más largo plazo.¹³⁹ En la presente serie de OVAT-L, tampoco se evidenciaron alteraciones significativas en la inclinación rotuliana lateral tras un seguimiento mínimo de 24 meses.

Pendiente tibial posterior

Existe un abundante cuerpo de literatura que coincide en la tendencia de la OVAT a causar un aumento de la PTP. Este hecho se ha relacionado con el grado de corrección realizado durante la osteotomía, la relación entre el *gap* anterior y el posterior y la preservación de la bisagra lateral, entre otros factores.¹⁴⁰ Esta modificación en el plano sagital genera un aumento de fuerzas que tienden a desplazar la tibia hacia delante, aumentando la demanda tanto en el LCA nativo¹¹⁰ como en aquel que ha requerido reconstrucción.^{111,141} Tanto es así, que se ha vinculado la presencia de una mayor PTP lateral con un peor resultado tras la reconstrucción del LCA, asociándose esta mayor pendiente con un fallo prematuro del injerto del LCA.¹⁴² El papel de la PTP medial como factor predictivo para el fallo de una reconstrucción del LCA es más controvertido.¹⁴³ Sin embargo, existe cierto consenso que una PTP medial superior a 12° aumenta significativamente el riesgo de fallo tras una reconstrucción de este ligamento.^{144,145}

La importancia de mantener la PTP inalterada al realizar una OVAT radica no sólo en el papel que tiene para el correcto funcionamiento del LCA nativo o reconstruido, sino también en cómo se distribuyen las cargas a través de las superficies femorotibiales,

ya que en rodillas con déficit del LCA, un aumento iatrogénico de la PTP generará un aumento de presiones no deseado sobre el platillo tibial posterior.¹⁴⁶

De acuerdo con los resultados obtenidos del trabajo cadavérico que forma parte de esta tesis doctoral, los efectos no deseados sobre el LCA y el compartimento posterior que se describen previamente podrían evitarse tomando en consideración determinados aspectos, como son: la distancia desde la interlínea articular donde comienza la osteotomía y la colocación de la cuña de apertura en el tercio posteromedial (PM) de la tibia.¹⁴⁷ En este estudio se evidenció que el punto donde comienza la osteotomía, tomando como referencia la distancia a la interlínea articular medial, tiene un papel significativo en la PTP resultante, ya que cuando este punto se sitúa a 3 cm de la interlínea articular se permiten ligeras modificaciones en la colocación de la cuña de apertura sin tener un impacto significativo en la PTP postoperatoria. En cambio, cuando la osteotomía comienza a 4 cm distal a la interlínea articular, mínimas modificaciones en la colocación de la cuña de apertura, es decir, trasladar la localización de la misma desde el tercio PM al tercio medial (M) de la tibia, genera cambios significativos en la PTP.

Los hallazgos descritos previamente tienen relación con lo establecido por Noyes y cols. en el año 2005.⁴⁷ Allí, además de establecerse la importancia de lograr un espacio o *gap* traapezoidal, recomendando que el tamaño de la apertura posterior fuese el doble que la anterior (proporción de 2:1), se sentaron las bases matemáticas que justifican los hallazgos obtenidos años más tarde por nuestro grupo.¹⁴⁷ Noyes y cols. observaron que, tomando como referencia un tamaño de la cortical medial de la tibia de 40 mm en el sitio donde comienza la osteotomía, por cada mm de error en la proporción 2:1 al generar el espacio de apertura, la PTP aumentaba 2°. En línea con esto, también evidenciaron que, si el tamaño de la cortical medial donde comienza la osteotomía disminuye a 20mm, cada mm de error en el *gap* anterior genera un aumento de la PTP de 4°.⁴⁷ De acuerdo con esto, atendiendo a los hallazgos obtenidos en el estudio cadavérico presentado en esta tesis doctoral, al analizar el tamaño medio lateral de la tibia, a 3 y 4 cm de la interlínea articular medial, se observó que eligiendo un sitio más distal para el comienzo de la osteotomía, y debido a la anatomía de la tibia en esta zona, se encontraría una sección transversal ósea de menor tamaño, con un mayor riesgo de producir alteraciones significativas en la PTP tras cambios mínimos en la localización de la cuña de apertura.¹⁴⁸

Al analizar exhaustivamente la literatura, no se encontró hasta el momento de la publicación, trabajo alguno donde se estudiara el punto de comienzo (altura) de la osteotomía y su repercusión en la PTP. Matar y cols. sugirieron como punto de elección para iniciar la osteotomía la zona de transición metafiso-diafisaria, distal a la inserción

de la cápsula articular, y a 3 cm de la interlínea articular, considerando este sitio como el “ideal” para la colocación de un separador de Hohmann posterior que protegiera las estructuras neurovasculares.¹⁴⁹ En cambio, Noyes y cols. sugirieron que el punto de inicio debería situarse a 3.5 cm distal a la interlínea articular,¹⁵⁰ mientras que otros autores recomendaron 4 cm como sitio más aconsejable.¹⁵¹

Los hallazgos obtenidos del presente trabajo cadavérico, adquieren mayor relevancia en aquellos casos donde se planea realizar de manera combinada una reconstrucción del LCA. Ante esta situación, autores como Cantivalli y cols. recomiendan que la osteotomía comience a 4 cm de la interlínea articular, para asegurar así una longitud suficiente de túnel óseo tibial y evitar de esta manera que dicho túnel comience en la zona anterior del defecto óseo de la osteotomía.¹⁵¹ Sin embargo, la elección de este punto de inicio podría generar un efecto indeseado sobre la PTP, si el cirujano no mantiene de manera estricta la colocación de la cuña de apertura en el tercio PM de la tibia. En este contexto, y según los hallazgos mencionados previamente,¹⁴⁷ la localización de la cuña de apertura en el tercio M de la tibia generaría un aumento superior a 2° en la PTP, con todas las consecuencias que esto podría representar para el injerto del LCA.^{145,152}

También ha sido analizado el efecto resultante sobre la PTP al realizar una OVAT modificando el sitio estándar de colocación de la bisagra en la cortical lateral de la tibia.¹⁵³ Moon y cols. observaron que, al distalizar la bisagra en la zona lateral, no sólo aumentaba la PTP, sino que aumentaban las fracturas de la cortical lateral de la tibia, hecho que se atribuyó a una menor área de sección transversal de la tibia a ese nivel. Esta complicación no sucedió en el estudio presentado en esta tesis doctoral, donde se respetó la localización estándar de la bisagra lateral.

Las posibles modificaciones en la PTP no ocurren exclusivamente en las OVAT, sino que, como se introdujo previamente en esta tesis doctoral, también pueden ocurrir al realizar una OVAT “L”. Es por ese motivo que, al describir dicha técnica quirúrgica y sus resultados clínicos, analizamos no sólo las modificaciones de la altura *patellar* sino también la repercusión sobre la PTP cuando se realizaba este diseño biplanar en “L” invertida.^{130,131} Con los resultados obtenidos los autores lograron establecer una secuencia de fijación para la osteotomía que permitiese obtener un *gap* trapezoidal, manteniendo la PTP sin modificaciones, sin exponerse al riesgo de generar fracturas, ni retardos de consolidación en la TAT, que sí han evidenciado diferentes autores.^{129,154} A diferencia de lo expuesto por Gaasbeek y cols., los resultados obtenidos tras realizar una OVAT “L”, justifican la fijación en primer término de la TAT al segmento distal de la osteotomía. Esto permite, por un lado, ejercer un efecto “anti” pendiente que evita las modificaciones de la misma, y por

otro, protege la TAT de una fractura. Si se invierte esta secuencia, sintetizándose en el orden inverso, se expone la TAT a un estrés superior y, por tanto, a un mayor riesgo de fractura.¹²⁹

Kim y cols. también han reportado un mayor índice de retardos de consolidación, protrusión de la TAT en la zona anterior de la rodilla, y modificaciones en la PTP al realizar una OVAT "L", aunque los mismos autores lo atribuyen al hecho de no realizar fijación alguna entre la TAT y el segmento distal de la osteotomía.¹⁵⁴

Corrección coronal

La OVAT-L motivo de esta tesis, consiguió una corrección en el plano **coronal** acorde a la planificada, coincidiendo con lo publicado por otros autores.¹⁵⁴ En un estudio de cohorte retrospectivo, Kim y cols. evaluaron la efectividad para la corrección en el plano **coronal** de diferentes variantes de OVAT biplanares, incluyendo variante *cut up* (50 casos) y *cut down* (44 casos), es decir, osteotomías con prolongación hacia proximal o distal (similar a la OVAT-L) respecto a la TAT.¹⁵⁴ Como parece lógico, los resultados no mostraron diferencias en la corrección **coronal** lograda con cada una de las técnicas. Resulta importante mencionar que estos autores reportaron un elevado número de complicaciones asociadas a la TAT cuando la osteotomía se prolongaba hacia distal (9 retardos de consolidación y 5 casos de molestia anterior por protrusión de la TAT). Sin embargo, en esta serie no se realizó fijación de la TAT al segmento distal de la osteotomía, lo que podría contribuir a explicar las complicaciones mencionadas.

Resultados clínicos

Los resultados clínicos obtenidos a corto plazo en la serie que se incluye en esta tesis doctoral apoyan la realización de este tipo de osteotomía biplanar (OVAT-L) en pacientes con una altura *patellar* normal o límite preoperatoria, o en los que se considere que realizando una OVAT es posible que desarrollen una *patella* baja debido al ICD preoperatorio y el grado de corrección que se planea realizar.

La mejoría obtenida en las escalas funcionales es consistente con los resultados publicados por Ogawa y cols., quienes compararon los resultados clínicos obtenidos entre dos grupos de OVAT biplanar, uno donde el corte se prolongaba hacia proximal ($n = 41$) y otro hacia distal ($n = 43$), respecto a la progresión de la degeneración (artropatía) femorrotuliana. Una de las técnicas empleada (prolongación distal) era

similar a la propuesta por el doctorando y asociaba también la fijación de la TAT al segmento distal de la osteotomía. Aunque la mejoría clínica era evidente en ambos grupos, cuando la osteotomía se prolongaba hacia distal se asociaba también un efecto protector sobre el estado condral femorrotuliano, que se evidenció al comparar los resultados artroscópicos entre el momento de la osteotomía y al retirar el material de osteosíntesis. Esta mejoría se localizaba principalmente en la superficie condral de la tróclea femoral, donde el porcentaje de casos con aumento del deterioro de la superficie articular fue de un 20.9%, en el grupo de las osteotomías con extensión distal, respecto al 51.1% ($p < 0.05$) en aquellas con prolongación proximal. En la misma línea, en el grupo de prolongación distal hubo más casos de mejoría condral (23.3%) que en el de prolongación proximal (4.9%) ($p < 0.05$).¹⁵⁵ Por lo que los autores concluyeron que la osteotomía biplanar con prolongación distal que incluya la TAT, se asocia no solo con un menor deterioro del cartílago sino que además obtiene un mayor porcentaje de casos con mejoría del estado condral y superiores resultados funcionales, cuando se la compara con la de prolongación proximal.¹⁵⁵

7.1 Limitaciones y fortalezas

La principal limitación de la serie clínica publicada radica en su diseño retrospectivo (aunque los datos habían sido recogidos prospectivamente), con todas las limitaciones inherentes a este tipo de estudios. En segundo lugar, el limitado número de pacientes que incluye y la falta de un grupo control son también factores limitantes, aunque esta es la serie publicada que reporta mayor número de casos con esta variante técnica. Además, cabe destacar, a diferencia de otras publicaciones, que la variante en L-invertida, con la secuencia de fijación específica y realizada siempre con la misma técnica quirúrgica que aquí se presenta, no ha generado complicaciones a nivel de la TAT, puesto que no se registraron fracturas ni retardos de consolidación en la zona, ni tampoco se produjeron modificaciones en la PTP.

Otra limitación de este estudio es el corto seguimiento de los pacientes, que no permitió realizar evaluaciones funcionales y radiológicas a largo plazo. No obstante, el propósito de esta investigación fue descartar cualquier modificación radiológica no deseada en la altura *patellar* y la PTP con esta técnica quirúrgica relativamente nueva. Por lo que los autores consideramos que dos años de evolución eran tiempo suficiente para poder evaluar estos parámetros. Obviamente, un más largo seguimiento será necesario para poder confirmar que estos hallazgos permanecen inalterados con el tiempo.

Respecto al trabajo experimental presentado tampoco está exento de limitaciones. Como es habitual en este tipo de trabajos cadavéricos, el número de especímenes fue limitado. Sin embargo, el tamaño muestral utilizado fue consistente con otros trabajos cadavéricos similares, focalizados en el estudio de la PTP, que han utilizado muestras que oscilan entre 8 y 16 rodillas.^{96,156,157}

Cabe mencionar también, que debido a la calidad ósea de la muestra, no se planteó la creación de diferentes grados de apertura tibial. Esta limitación fue minimizada seleccionando un grado de apertura de 10°, basado en protocolos utilizados por otros estudios previos que analizaron la PTP al realizar una OVAT.¹⁵⁸

Además, como los especímenes disponibles no incluían la articulación del tobillo, la PTP fue medida en una radiografía lateral de la rodilla, utilizando 15 cm proximales del eje anatómico sagital de la tibia.¹⁵⁹ Sin embargo, esta es una limitación menor, puesto que no se han hallado diferencias significativas en la medición de la PTP cuando ésta se analiza utilizando el eje anatómico sagital completo de la tibia.⁸⁹

Finalmente, las piezas contaban con una interrupción del aparato extensor debido a la amputación de las mismas a nivel del tercio proximal del fémur. Por este motivo, en este trabajo experimental, no se pudieron estudiar las eventuales relaciones entre los cambios producidos en la PTP y la altura *patellar*.

7.2 Perspectivas futuras

La línea de investigación presentada en esta tesis doctoral goza de continuidad. Los hallazgos obtenidos de ambos estudios han abierto las puertas a nuevos trabajos, tanto clínicos como experimentales. Entre los diferentes aspectos que convendría estudiar destacan:

- El seguimiento clínico a medio y largo plazo de los pacientes intervenidos mediante la técnica de OVAT-L.
- Estudiar con mayor precisión la repercusión de los gestos quirúrgicos en la tibia sobre las presiones generadas en la articulación femorrotuliana. Posibilidad de análisis con modelos paramétricos (elementos finitos) o mecánicos (tecnología combinada, con robot y captador de presiones).
- La utilidad de la tomografía axial computarizada para el estudio de la sección transversal de la tibia a diferentes niveles, para mediante un modelo matemático, evaluar la posibilidad de “manipular” la PTP de manera prospectiva/predictiva al realizar una OVAT.
- También con el soporte de la tomografía axial computarizada y la incorporación de guías 3D, evaluar la utilidad de estas últimas en cuanto al grado de precisión, reproducibilidad, y disminución de complicaciones relacionadas con la ejecución técnica.



CONCLUSIONES

8

CONCLUSIONES

8

1 La osteotomía valguizante biplanar de apertura tibial, con un corte distal en "L" invertida, permite corregir efectivamente la alineación de la extremidad en el plano coronal, sin generar cambios en la articulación femorrotuliana ni en la pendiente tibial posterior, brindando a la rodilla mejoría funcional en el seguimiento a corto plazo. Los resultados presentados en esta tesis apoyan la utilización de la osteotomía valguizante de apertura tibial en "L" en pacientes con una altura *patellar* normal o límite, o en aquellos pacientes con un índice de Caton-Deschamps entre 1 y 1,2, cuando se planea realizar una corrección $> 10^\circ$.

2 Al realizar una osteotomía valguizante de apertura tibial proximal, la distancia desde la interlínea articular hasta el punto de inicio de la osteotomía en la cortical medial tienen una trascendencia significativa, ya que, a mayor distancia, aumenta el riesgo de incrementar la pendiente tibial posterior tras la osteotomía.

3 Además, al realizar una osteotomía valguizante de apertura tibial proximal, la colocación de la cuña de apertura en el tercio posteromedial de la tibia permite generar un defecto trapecoidal, logrando así mantener inalterada la pendiente tibial posterior.



BIBLIOGRAFÍA

9

BIBLIOGRAFÍA

9

1. Hemborg JS, Nilsson BE. Age and sex incidence of osteophytes in the knee joint. *Acta Orthop Scand.* 1973;44(1):66-8.
2. Felson DT, Naimark A, Anderson J, Kazis L, Castelli W, Meenan RF. The prevalence of knee osteoarthritis in the elderly: The Framingham Osteoarthritis Study. *Arthritis Rheum.* 1987 Aug;30(8):914-8.
3. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1957 Dec;16(4):494-502.
4. Ahlbäck S. Osteoarthrosis of the knee. A radiographic investigation. *Acta Radiol Diagn (Stockh).* 1968;Suppl 277:7-72.
5. Smith JO, Wilson AJ, Thomas NP. Osteotomy around the knee: evolution, principles and results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013 Jan;21(1):3-22.
6. Paley D, Pfeil J. Prinzipien der kniegelenknahen Deformitätenkorrektur [Principles of deformity correction around the knee]. *Orthopade.* 2000 Jan;29(1):18-38. German.
7. Moreland JR, Bassett LW, Hanker GJ. Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. *J Bone Joint Surg Am.* 1987 Jun;69(5):745-9.
8. Sharma L, Song J, Felson DT, Cahue S, Shamiyeh E, Dunlop DD. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *JAMA.* 2001 Jul;286(2):188-95.
9. Cerejo R, Dunlop DD, Cahue S, Channin D, Song J, Sharma L. The influence of alignment on risk of knee osteoarthritis progression according to baseline stage disease. *Arthritis Rheum.* 2002 Oct;46(10):2632-6.
10. Brorson S. Management of fractures of the humerus in Ancient Egypt Greece, and Rome: An historical review. *Clin Orthop Relat Res.* 2009 Jul;467(7):1907-14.
11. Griffiths DL, Brockbank W. Orthopaedic surgery in the 16. and 17. centuries; traction apparatus; the vidian pictures. *J Bone Joint Surg Br.* 1949 May;31B(2):313-7.
12. Kühn KG, editor. *Claudii Galeni Opera Omnia.* Vol 5. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. 1821 p.
13. Smith GE. The most ancient splints. *Br Med J.* 1908 Mar;1(2465):732-6.

14. Lobenhoffer P. Stellenwert der knienahen Osteotomie bei medialer Gonarthrose. Indikation, Technik und Ergebnisse [Importance of osteotomy around to the knee for medial gonarthrosis. Indications, technique and results]. *Orthopade*. 2014 May;43(5):425-31. German.
15. Beger HG. From Archiv für Klinische Chirurgie to Langenbeck's Archives of Surgery: 1860–2010. *Langenbecks Arch Surg*. 2010 Apr;395(1):3-12.
16. Pennington TH. Osteotomy as an indicator of antiseptic surgical practice. *Med Hist*. 1994 Apr;38(2):178–88.
17. Adams W. On subcutaneous osteotomy. *Br Med J*. 1879 Oct;2(981):604-6.
18. Macewen W. Osteotomy, with an inquiry into the aetiology and pathology of knock-knee, bow-leg, and other osseous deformities of the lower limbs. London: J. & A. Churchill; 1880. 64 p.
19. Brett AL. Operative correction of genu recurvatum. *J Bone Joint Surg Am*. 1935 Oct;17(4):984-9.
20. Brittain HA. Treatment of genu valgum; the discarded iron. *Br Med J*. 1948 Aug;2(4572):385-7.
21. Wardle EN. Osteotomy of the tibia and fibula. *Surg Gynecol Obstet*. 1962 Jul;115:61-4.
22. Atkins RM. Transosseous osteosynthesis: theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue. *Ann R Coll Surg Engl*. 1993 Sep;75(5):383.
23. Garipey R. Genu varum treated by high tibial osteotomy. *J Bone Joint Surg Br*. 1964;46:783-4.
24. Coventry MB. Osteotomy of the upper portion of the tibia for degenerative arthritis of the knee. A preliminary report. *J Bone Joint Surg Am*. 1965 Jul;47:984-90.
25. Harris WR, Kostuik JP. High tibial osteotomy for osteo-arthritis of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 1970 Mar;52(2):330-6.
26. Seal PV, Chan RN. Tibial osteotomy for osteoarthrosis of the knee. *Acta Orthop Scand*. 1975 Apr;46(1):141-51.
27. Coventry MB. Osteotomy about the knee for degenerative and rheumatoid arthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 1973 Jan;55(1):23-48.
28. Miniaci A, Ballmer FT, Ballmer PM, Jakob RP. Proximal tibial osteotomy. A new fixation device. *Clin Orthop Relat Res*. 1989 Sep;(246):250-9.
29. Fujisawa Y, Masuhara K, Shiomi S. The effect of high tibial osteotomy on osteoarthritis of the knee. An arthroscopic study of 54 knee joints. *Orthop Clin North Am*. 1979 Jul;10(3):585-608.
30. Brinkman JM, Lobenhoffer P, Agneskirchner JD, Staubli AE, Wymenga AB, van Heerwaarden RJ. Osteotomies around the knee: patient selection, stability of fixation and bone healing in high tibial osteotomies. *J Bone Joint Surg Br*. 2008 Dec;90(12):1548-57.
31. Dugdale TW, Noyes FR, Styer D. Preoperative planning for high tibial osteotomy. The effect of lateral tibiofemoral separation and tibiofemoral length. *Clin Orthop Relat Res*. 1992 Jan;(274):248-64.
32. Coventry MB, Ilstrup DM, Wallrichs SL. Proximal tibial osteotomy. A critical long-term study of eighty-seven cases. *J Bone Joint Surg Am*. 1993 Feb;75(2):196-201.
33. Insall JN, Joseph DM, Msika C. High tibial osteotomy for varus gonarthrosis. A long-term follow-up study. *J Bone Joint Surg Am*. 1984 Sep;66(7):1040-8.
34. Ivarsson I, Myrnerets R, Gillquist J. High tibial osteotomy for medial osteoarthritis of the knee. A 5 to 7- and 11-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br*. 1990 Mar;72(2):238-44.
35. Ranieri L, Traina GC, Maci C. High tibial osteotomy in osteoarthrosis of the knee (a long-term clinical study of 187 knees). *Ital J Orthop Traumatol*. 1977 Dec;3(3):289-300.
36. Rudan JF, Simurda MA. Valgus high tibial osteotomy. A long-term follow-up study. *Clin Orthop Relat Res*. 1991 Jul;(268):157-60.

37. Aglietti P, Buzzi R, Vena LM, Baldini A, Mondaini A. High tibial valgus osteotomy for medial gonarthrosis: a 10- to 21-year study. *J Knee Surg.* 2003 Jan;16(1):21-6.
38. Pape D, Rupp S. Preoperative planning for high tibial osteotomies. *Oper Tech Orthop.* 2007 Jan;17(1):2-11.
39. Hernigou P, Medevielle D, Debeyre J, Goutallier D. Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity. A ten to thirteen-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am.* 1987 Mar;69(3):332-54.
40. Matthews LS, Goldstein SA, Malvitz TA, Katz BP, Kaufer H. Proximal tibial osteotomy. Factors that influence the duration of satisfactory function. *Clin Orthop Relat Res.* 1988 Apr;(229):193-200.
41. Nakamura E, Mizuta H, Kudo S, Takagi K, Sakamoto K. Open-wedge osteotomy of the proximal tibia with hemicallosis. *J Bone Joint Surg Br.* 2001 Nov;83(8):1111-5.
42. Magyar G, Toksvig-Larsen S, Lindstrand A. Open wedge tibial osteotomy by callus distraction in gonarthrosis. Operative technique and early results in 36 patients. *Acta Orthop Scand.* 1988 Apr;69(2):147-51.
43. Magyar G, Ahl TL, Vibe P, Toksvig-Larsen S, Lindstrand A. Open-wedge osteotomy by hemicallosis or the closed-wedge technique for osteoarthritis of the knee. A randomised study of 50 operations. *J Bone Joint Surg Br.* 1999 May;81(3):444-8.
44. Maniscalco P. High tibial osteotomy with external fixator in the varus gonarthritic knee. *Acta Biomed.* 2003 Aug;74(2):76-80.
45. Ahlberg A, Scham S, Unander-Scharin L. Osteotomy in degenerative and rheumatoid arthritis of the knee joint. *Acta Orthop Scand.* 1968;39(3):379-88.
46. Jackson JP, Waugh W. Tibial osteotomy for osteoarthritis of the knee. *J Bone Joint Surg Br.* 1961 Nov;43-B:746-51.
47. Noyes FR, Goebel SX, West J. Opening wedge tibial osteotomy: the 3-triangle method to correct axial alignment and tibial slope. *Am J Sports Med.* 2005 Mar;33(3):378-87.
48. Pang R, Jiang Z, Xu C, Shi W, Zhang X, Wan X, et al. Is Patient-Specific Instrumentation Accurate and Necessary for Open-Wedge High Tibial Osteotomy? A Meta-Analysis. *Orthop Surg.* 2023 Feb;15(2):413-22.
49. Cerciello S, Ollivier M, Corona K, Kaocoglu B, Seil R. CAS and PSI increase coronal alignment accuracy and reduce outliers when compared to traditional technique of medial open wedge high tibial osteotomy: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022 Feb;30(2):555-66.
50. Badhe NP, Forster IW. High tibial osteotomy in knee instability: the rationale of treatment and early results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2002 Jan;10(1):38-43.
51. Gaasbeek RD, Welsing RT, Verdonschot N, Rijnberg WJ, van Loon CJ, van Kampen A. Accuracy and initial stability of open- and closed-wedge high tibial osteotomy: a cadaveric RSA study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005 Nov;13(8):689-94.
52. Miller BS, Downie B, McDonough EB, Wojtys EM. Complications after medial opening wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy.* 2009 Jun;25(6):639-46.
53. Warden SJ, Morris HG, Crossley KM, Brukner PD, Bennell KL. Delayed- and non-union following opening wedge high tibial osteotomy: surgeons' results from 182 completed cases. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005 Jan;13(1):34-7.
54. Saragaglia D, Blaysat M, Inman D, Mercier N. Outcome of opening wedge high tibial osteotomy augmented with a Biosorb(R) wedge and fixed with a plate and screws in 124 patients with a mean of ten years follow-up. *Int Orthop.* 2011 Aug;35(8):1151-6.
55. Nelissen EM, van Langelaan EJ, Nelissen RG. Stability of medial opening wedge high tibial osteotomy: a failure analysis. *Int Orthop.* 2010 Feb;34(2):217-23.

56. Schroter S, Gonser CE, Konstantinidis L, Helwig P, Albrecht D. High complication rate after biplanar open wedge high tibial osteotomy stabilized with a new spacer plate (Position HTO plate) without bone substitute. *Arthroscopy*. 2011 May;27(5):644-52.
57. Yacobucci GN, Cocking MR. Union of medial opening-wedge high tibial osteotomy using a corticocancellous proximal tibial wedge allograft. *Am J Sports Med*. 2008 Apr;36(4):713-9.
58. Pongsoipetch B, Tantikul C. Open-wedge high tibial osteotomy in varus knee osteoarthritis: a 5-year prospective cohort study. *J Med Assoc Thai*. 2009 Dec;92 Suppl 6:S109-14.
59. Zaki SH, Rae PJ. High tibial valgus osteotomy using the Tomofix plate—medium-term results in young patients. *Acta Orthop Belg*. 2009 Jun;75(3):360-7.
60. Niemeyer P, Schmal H, Hauschild O, von Heyden J, Sudkamp NP, Kostler W. Open-wedge osteotomy using an internal plate fixator in patients with medial-compartment gonarthrosis and varus malalignment: 3-year results with regard to preoperative arthroscopic and radiographic findings. *Arthroscopy*. 2010 Dec;26(12):1607-16.
61. Naudie D, Bourne RB, Rorabeck CH, Bourne TJ. The Install Award. Survivorship of the high tibial valgus osteotomy. A 10- to -22-year followup study. *Clin Orthop Relat Res*. 1999 Oct;(367):18-27.
62. Meidinger G, Imhoff AB, Paul J, Kirchoff C, Sauerschnig M, Hinterwimmer S. May smokers and overweight patients be treated with a medial open-wedge HTO? Risk factors for non-union. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011 Mar;19(3):333-9.
63. Sprenger TR, Doerzbacher JF. Tibial osteotomy for the treatment of varus gonarthrosis. Survival and failure analysis to twenty-two years. *J Bone Joint Surg Am*. 2003 Mar;85(3):469-74.
64. Chao EY, Neluheni EV, Hsu RW, Paley D. Biomechanics of malalignment. *Orthop Clin North Am*. 1994 Jul;25(3):379-86.
65. Cooke TD, Li J, Scudamore RA. Radiographic assessment of bony contributions to knee deformity. *Orthop Clin North Am*. 1994 Jul;25(3):387-93.
66. Hsu RW, Himeno S, Coventry MB, Chao EY. Normal axial alignment of the lower extremity and load-bearing distribution at the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 1990 Jun;(255):215-27.
67. Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, Mc Kie J, Bhave A. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop Clin North Am*. 1994 Jul;25(3):425-65.
68. Paley D, Tetsworth K. Mechanical axial deviation of the lower limbs. Preoperative planning of uniaxial angular deformities of the tibia or femur. *Clin Orthop*. 1992 Jul;(280):48-64.
69. Paley D, Chaudray M, Pirone Am, Lentz P, Kautz D. Treatment of malunions and mal-nonunions of the femur and tibia by detailed preoperative planning and the Ilizarov techniques. *Orthop Clin North Am*. 1990 Oct;21(4):667-91.
70. Orrego M, Besa P, Orrego F, Amenabar D, Vega R, Iribarra L, et al. Medial opening wedge high tibial osteotomy: more than ten years of experience with Puudu plate technique supports its indication. *Int Orthop*. 2020 Oct;44(10):2021-6.
71. Bouguennec N, Mergenthaler G, Gicquel T, Briand C, Nadau E, Pailhé R, et al. Medium-term survival and clinical and radiological results in high tibial osteotomy: factors for failure and comparison with unicompartmental arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2020 Dec;106(8S):S223-S230.
72. Cotter EJ, Gowd AK, Bohl DD, Getgood A, Cole BJ, Frank RM. Medical comorbidities and functional dependent living are independent risk factors for short-term complication following osteotomy procedures about the knee. *Cartilage*. 2020 Oct;11(4):423-30.
73. Howells NR, Salmon L, Waller A, Scanelli J, Pinczewski LA. The outcome at ten years of lateral closing-wedge high tibial osteotomy: determinants of survival and functional outcome. *Bone Joint J*. 2014 Nov;96(11):1491-7.

74. Can A, Erdogan F, Erdogan AO, Sarikaya IA, Yontar NS. What determines the success of closed-wedge high tibial osteotomy: severity of malalignment, obesity, follow-up period, or age? *Sisli Etfal Hastan Tip Bul.* 2018 Mar 23;52(1):6-12.
75. Faschingbauer M, Renner L, Boettner F. Allergy in total knee replacement. Does it exist? Review article. *HSS J.* 2017 Feb;13(1):12-9.
76. Kawai R, Kawashima I, Maeda A, Tsukada M, Aoshiba H, Kusaka Y, et al. The factors affecting the timing of bone union after closing-wedge high tibial osteotomy. *J Clin Orthop Trauma.* 2020 Jul;11(Suppl 4):S526-S529.
77. Nagel A, Insall JN, Scuderi GR. Proximal tibial osteotomy: A subjective outcome study. *J Bone Joint Surg Am.* 1996 Sep;78(9):1353-8.
78. Akaoka Y, Iseki T, Kanto R, Onishi S, Tachibana T, Tensho K, et al. Changes in *patellar* height and patellofemoral alignment following double level osteotomy performed for osteoarthritic knees with severe varus deformity. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol.* 2020 Jul 17;22:20-6.
79. Outerbridge RE, Dunlop JA. The problem of chondromalacia *patellae*. *Clin Orthop Relat Res.* 1975 Jul-Aug;(110):177-96.
80. Floerkemeier S, Staubli AE, Schroeter S, Goldhahn S, Lobenhoffer P. Does obesity and nicotine abuse influence the outcome and complication rate after open-wedge high tibial osteotomy? A retrospective evaluation of five hundred and thirty-three patients. *Int Orthop.* 2014 Jan;38(1):55-60.
81. Flecher X, Parratte S, Aubaniac JM, Argenson JN. A 12-28-year followup study of closing wedge high tibial osteotomy. *Clin Orthop.* 2006 Nov;452:91-6.
82. Goshima K, Sawaguchi T, Sakagoshi D, Shigemoto K, Hatsuchi Y, Akahane M. Age does not affect the clinical and radiological outcomes after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Mar;25(3):918-23.
83. Noyes FR, Barber-Westin SD, Hewett TE. High tibial osteotomy and ligament reconstruction for varus angulated anterior cruciate ligament-deficient knees. *Am J Sports Med.* 2000 May-Jun;28(3):282-96.
84. Amendola A. The role of osteotomy in the multiple ligament injured knee. *Arthroscopy.* 2003 Dec;19 Suppl 1:11-3.
85. Swanson MA, Huo MH. Total hip arthroplasty in the ankylosed hip. *J Am Acad Orthop Surg.* 2011 Dec;19(12):737-45.
86. Specogna AV, Birmingham TB, DaSilva JJ, Milner JS, Kerr J, Hunt MA, et al. Reliability of lower limb frontal plane alignment measurements using plan radiographs and digitized images. *J Knee Surg.* 2004 Oct;17(4):203-10.
87. Habata T, Uematsu K, Hattori K, Kasanami R, Takakura Y, Fujisawa Y. High tibial osteotomy that does not cause recurrence of varus deformity for medial gonarthrosis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006 Oct;14(10):962-7.
88. Rosenberg TD, Paulos LE, Parker RD, Coward DB, Scott SM. The forty-five-degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1988 Dec;70(10):1479-83.
89. Dean RS, DePhillipo N, Chahla J, Larson CM, Laprade RF. Posterior tibial slope measurements using the anatomic axis are significantly increased compared with those that use the mechanical axis. *Arthroscopy.* 2021 Jan;37(1):243-9.
90. Brazier J, Migaud H, Gougeon F, Cotten A, Fontaine C, Duquennoy A. Evaluation of methods for radiographic measurement of the tibial slope. A study of 83 healthy knees. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1996;82(3):195-200.

91. Dejour H, Bonnin M. Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture. Two radiological tests compared. *J Bone Joint Surg Br.* 1994 Sep;76(5):745-9.
92. Caton J, Deschamps G, Chambat P, Lerat JL, Dejour H. Les rotules basses. A propos de 128 observations [Patella infera. Apropos of 128 cases]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1982;68(5):317-25. French.
93. Kim YM, Joo YB. Patellofemoral osteoarthritis. *Knee Surg Relat Res.* 2012 Dec;24(4):193-200.
94. Müller M, Strecker W. Arthroscopy prior to osteotomy around the knee? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008 Nov;128(11):1217-21.
95. Teng Y, Mizu-Uchi H, Xia Y, Akasaki Y, Akiyama T, Kawahara S, et al. Axial but not sagittal hinge axis affects posterior tibial slope in medial open wedge high tibial osteotomy: a three-dimensional surgical simulation study. *Arthroscopy.* 2021 Jul;37(7):2191-201.
96. Jo HS, Park JS, Byun JH, Lee YB, Choi YL, Cho SH, et al. The effects of different hinge positions on posterior tibial slope in medial open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc.* 2018 Jun;26(6):1851-8.
97. Guarino A, Farinelli L, Iacono V, Cozzolino A, Natali S, Zorzi C, et al. Long-term survival and predictors of failure of opening wedge high tibial osteotomy. *Orthop Surg.* 2023 Apr;15(4):1002-7.
98. Cazor A, Schmidt A, Shatrov J, Alqahtani T, Neyret P, Sappey-Marinié E, et al. Less risk of conversion to total knee arthroplasty without significant clinical and survivorship difference for opening-wedge high tibial osteotomies in varus knee deformities at 10-year minimum follow up compared to closing-wedge high tibial osteotomies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023 Apr;31(4):1603-13.
99. Duivenvoorden T, van Diggele P, Reijman M, Bos PK, van Egmond J, Bierma-Zeinstra S, et al. Adverse events and survival after closing- and opening-wedge high tibial osteotomy: a comparative study of 412 patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Mar;25(3):895-901.
100. Hernigou P, Ma W. Open wedge tibial osteotomy with acrylic bone cement as bone substitute. *Knee.* 2001 Jun;8(2):103-10.
101. Quan H, Won-Gyun L, Eun-Kyoo S, Cheng J, Jong-Keun S. Comparison of long-term survival analysis between open-wedge high tibial osteotomy and unicompartmental knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2021 May;36(5):1562-7.
102. Schallberger A, Jacobi M, Wahl P, Maestretti G, Jakob R. High tibial valgus osteotomy in unicompartmental medial osteoarthritis of the knee: a retrospective follow-up study over 13-21 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011 Jan;19(1):122-7.
103. Maquet P. Traitement chirurgical de l'arthrose fémoro-tibiale [Surgical treatment of femoro-tibial arthrosis]. *Acta Orthop Belg.* 1982 Jan-Feb;48(1):172-89. French.
104. Shetty AA, Tindall AJ, Qureshi F, Divekar M, Fernando KWK. The effect of knee flexion on the popliteal artery and its surgical significance. *J Bone Joint Surg Br.* 2003 Mar;85(2):218-22.
105. Zaidi SH, Cobb AG, Bentley G. Danger to the popliteal artery in high tibial osteotomy. *J Bone Joint Surg Br.* 1995 May;77(3):384-6.
106. Segal P. Les échecs des ostéotomies tibiales de valgisation pour gonarthrose. *Rev Chir Orthop.* 1992;78(Suppl. 1):85-125.
107. Hofmann AA, Wyatt RW, Beck SW. High tibial osteotomy. Use of osteotomy jig, rigid fixation, and early motion versus conventional surgical technique and cast immobilization. *Clin Orthop.* 1991 Oct;(271):212-7.
108. Odenbring S, Lindstrand A, Egund N. Early knee mobilization after osteotomy for gonarthrosis. *Acta Orthop Scand.* 1989 Dec;60(6):699-702.

109. Elyasi E, Cavalié G, Perrier A, Graff W, Payan Y. A systematic review on selected complications of open-wedge high tibial osteotomy from clinical and biomechanical perspectives. *Appl Bionics Biomech*. 2021 Oct 31;2021:9974666.
110. Imhoff FB, Comer B, Obopilwe E, Beitzel K, Arciero RA, Mehl JT. Effect of slope and varus correction high tibial osteotomy in the ACL-deficient and ACL-reconstructed knee on kinematics and ACL graft force: a biomechanical analysis. *Am J Sports Med*. 2021 Feb;49(2):410-6.
111. Kim JE, Won S, Jaffar MSA, Lee JI, Kim TW, Lee YS. How does geometric change after open-wedge high tibial osteotomy affect anterior cruciate ligament status? *Knee*. 2020 Jun;27(3):940-8.
112. Ma H, Lobenhoffer P, Yang J. The benefits of a percutaneous supplemental screw to reinforce the hinge of a medial open wedge tibial osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023 Jul;143(7):3707-13.
113. Cass JR, Bryan RS. High tibial osteotomy. *Clin Ortho Relat Res*. 1988 May;(230):196-9.
114. Westrich GH, Peters LE, Haas SB, Buly RL, Windsor RE. Patella height after high tibial osteotomy with internal fixation and early motion. *Clin Orthop Relat Res*. 1998 Sep;(354):169-74.
115. Wu LD, Hahne HJ, Hassenpflug T. A long-term follow-up study of high tibial osteotomy for medial compartment osteoarthritis. *Chin J Traumatol*. 2004 Dec;7(6):348-53.
116. Perusi M, Baietta D, Pizzoli A. Surgical correction of osteoarthritic genu varum by the hemicallotaxis technique. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1994;80(8):739-43.
117. Gibson MJ, Barnes MR, Allen MJ, Chan RN. Weakness of foot dorsiflexion and changes in compartment pressures after tibial osteotomy. *J Bone Joint Surg Br*. 1986 May;68(3):471-5.
118. Bettin D, Karbowski A, Schwering L, Matthiass HH. Time-dependent clinical and roentgenographical results of Coventry high tibial valgisation osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1998;117(1-2):53-7.
119. Turner RS, Griffiths H, Heatley FW. The incidence of deep-vein thrombosis after upper tibial osteotomy. A venographic study. *J Bone Joint Surg Br*. 1993 Nov;75(6):942-4.
120. Il KK, Kim DK, Song SJ, Lee SH, Bae DK. Medial open-wedge high tibial osteotomy may adversely affect the patellofemoral joint. *Arthroscopy*. 2017 Apr;33(4):811-6.
121. Kim TW, Kim BK, Kim DW, Sim JA, Lee BK, Lee YS. The SPECT/CT evaluation of compartmental changes after open wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Relat Res*. 2016 Dec;28(4):263-9.
122. Goutallier D, Delepine G, Debeyre J. The *patella*-femoral joint in osteoarthritis of the knee with genu varus. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1979 Jan-Feb;65(1):25-31.
123. Amzallag J, Pujol N, Maqdes A, Beaufils P, Judet T, Catonne Y. Patellar height modification after high tibial osteotomy by either medial opening-wedge or lateral closing-wedge osteotomies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013 Jan;21(1):255-9.
124. Portner O. High tibial valgus osteotomy: closing, opening or combined? Patellar height as a determining factor. *Clin Orthop Relat Res*. 2014 Nov;472(11):3432-40.
125. Bin SI, Kim HJ, Ahn HS, Rim DS, Lee DH. Changes in *patellar* height after opening wedge and closing wedge high tibial osteotomy: a meta-analysis. *Arthroscopy*. 2016 Nov;32(11):2393-2400.
126. El-Amrani MH, Lévy B, Scharycki S, Asselineau A. Patellar height relevance in opening-wedge high tibial osteotomy. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2010 Feb;96(1):37-44.
127. Stoffel K, Willers C, Korshid O, Kuster M. Patellofemoral contact pressure following high tibial osteotomy: a cadaveric study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007 Sep;15(9):1094-100.
128. Longino AD, Birmingham TB, Schultz W, Moyer R, Giffin JR. Combined tibial tubercle osteotomy with medial opening wedge high tibial osteotomy minimizes changes in *patellar* height: a prospective cohort study with historical controls. *Am J Sports Med*. 2013 Dec;41(12):2849-57.

129. Gaasbeek RD, Sonneveld H, van Heerwaarden RJ, Jacobs WCH, Wymenga AB. Distal tuberosity osteotomy in open wedge high tibial osteotomy can prevent *patella infera*: a new technique. *Knee*. 2004 Dec;11(6):457-61.
130. Erquicia J, Gelber P, Perelli S, Ibañez F, Ibañez M, Pelfort, et al. Biplane opening wedge high tibial osteotomy with a distal tuberosity osteotomy, radiological and clinical analysis with minimum follow-up of 2 years. *J Exp Orthop*. 2019 Feb 28;6(1):10.
131. Monllau JC, Erquicia JI, Ibañez F, Ibañez M, Gelber PE, Masferrer-Pino A, et al. Open-wedge valgus high tibial osteotomy technique with inverted L-shaped configuration. *Arthrosc Tech*. 2017 Nov;6(6):2161-7.
132. Shim JS, Lee SH, Jung HJ, Lee HI. High tibial open wedge osteotomy below the tibial tubercle: clinical and radiographic results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013 Jan;21(1):57-63.
133. Murphy SB. Tibial osteotomy for genu varum. Indications, preoperative planning, and technique. *Orthop Clin North Am*. 1994 Jul;25(3):477-82.
134. Marti CB, Gautier E, Wachtl SW, Jakob RP. Accuracy of frontal and sagittal plane correction in open-wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy*. 2004 Apr;20(4):366-72.
135. Insall J, Salvati E. Patella position in the normal knee joint. *Radiology*. 1971 Oct;101(1):101-4.
136. Otakara E, Nakagawa S, Arai Y, Inoue H, Kan H, Nakayama Y, et al. Large deformity correction in medial open-wedge high tibial osteotomy may cause degeneration of patellofemoral cartilage. A retrospective study. *Medicine*. 2019 Feb;98(5):e14299.
137. Kloos F, Becher C, Fleischer B, Feucht MJ, Hohloch L, Südkamp N, et al. High tibial osteotomy increases patellofemoral pressure if adverted proximal, while open-wedge HTO with distal biplanar osteotomy discharges the patellofemoral joint: different open-wedge high tibial osteotomies compared to an extra-articular unloading device. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019 Jul;27(7):2334-44.
138. Gaasbeek R, Welsing R, Barink M, Verdonschot N, van Kampen A. The influence of open and closed high tibial osteotomy on dynamic *patellar* tracking: a biomechanical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007 Aug;15(8):978-84.
139. Lee YS, Lee SB, Oh WS, Kwon YE, Lee BK. Changes in patellofemoral alignment do not cause clinical impact after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Jan;24(1):129-33.
140. Wu K, Zeng J, Han L, Feng W, Lin X, Zeng Y. Effect of the amount of correction on posterior tibial slope and patellar height in open-wedge high tibial osteotomy. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2021 Sep-Dec;29(3):23094990211049571.
141. Lin LJ, Akpınar B, Meislin RJ. Tibial slope and anterior cruciate ligament reconstruction outcomes. *JBJS Rev*. 2020 Apr;8(4):e0184.
142. Christensen JJ, Krych AJ, Engasser WM, Vanhees MK, Collins MS, Dahm DL. Lateral tibial posterior slope is increased in patients with early graft failure after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2015 Oct;43(10): 2510-4.
143. Li Y, Hong L, Feng H, Wang Q, Zhang H, Song G. Are failures of anterior cruciate ligament reconstruction associated with steep posterior tibial slopes? A case control study. *Chin Med J*. 2014;127(14):2649-53.
144. Lee CC, Youm YS, Cho SD, Jung SH, Bae MH, Park SJ, et al. Does posterior tibial slope affect graft rupture following anterior cruciate ligament reconstruction? *Arthroscopy*. 2018 Jul;34(7):2152-5.
145. Webb JM, Salmon LJ, Leclerc E, Pinczewski LA, Roe JP. Posterior tibial slope and further anterior cruciate ligament injuries in the anterior cruciate ligament reconstructed patient. *Am J Sports Med*. 2013 Dec;41(12):2800-4.

146. Rodner CM, Adams DJ, Diaz-Doran V, Tate JP, Santangelo SA, Mazzocca AD, et al. Medial opening wedge tibial osteotomy and the sagittal plane: the effect of increasing tibial slope on tibiofemoral contact pressure. *Am J Sports Med.* 2006 Sep;34(9):1431-41.
147. Erquicia JI, Gil-Gonzalez S, Ibañez M, Leal-Blanquet J, Combalia A, Monllau JC, et al. A lower starting point for the medial cut increases the posterior slope in opening-wedge high tibial osteotomy: a cadaveric study. *J Exp Orthop.* 2022 Dec 29;9(1):124.
148. Weißenberger M, Wagenbrenner M, Schote F, Horas K, Schäfer T, Rudert M, et al. The 3-triangle method preserves the posterior tibial slope during high tibial valgus osteotomy: first preliminary data using a mathematical model. *J Exp Orthop.* 2022 Mar 23;9(1):29.
149. Matar WY, Boscaroli R, Dervin GF. Open wedge high tibial osteotomy: a roentgenographic comparison of a horizontal and an oblique osteotomy on *patellar* height and sagittal tibial slope. *Am J Sports Med.* 2009 Apr;37(4):735-42.
150. Noyes FR, Mayfield W, Barber-Westin SD, Albright JC, Heckmann TP. Opening wedge high tibial osteotomy: an operative technique and rehabilitation program to decrease complications and promote early union and function. *Am J Sports Med.* 2006 Aug;34(8):1262-73.
151. Cantivalli A, Rosso F, Bonasia D, Rossi R. High tibial osteotomy and anterior cruciate ligament reconstruction/revision. *Clin Sports Med.* 2019 Jul;38(3):417-33.
152. Bernhardson AS, Aman ZS, DePhillipo NN, Dornan GJ, Storaci HW, Brady AW, et al. Tibial slope and its effect on graft force in posterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med.* 2019 Apr;47(5):1168-74.
153. Moon SW, Park SH, Lee BH, Oh M, Chang M, Ahn JH, et al. The effect of hinge position on posterior tibial slope in medial open-wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy.* 2015 Jun;31(6):1128-33.
154. Kim JS, Lee JI, Choi HG, Yoo HJ, Jung YS, Lee YS. Retro-tubercle biplanar opening wedge high tibial osteotomy is favorable for the patellofemoral joint but not for the osteotomized tubercle itself compared with supra-tubercle osteotomy. *Arthroscopy.* 2021 Aug;37(8):2567-78.
155. Ogawa H, Matsumoto K, Yoshioka H, Sengoku M, Ariyama H. Distal tibial tubercle osteotomy is superior to the proximal one for progression of patellofemoral osteoarthritis in medial opening wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020 Oct;28(10):3270-8.
156. Wang JH, Bae JH, Lim HC, Shon WY, Kim CW, Cho JW. Medial open wedge high tibial osteotomy: the effect of the cortical hinge on posterior tibial slope. *Am J Sports Med.* 2009 Dec;37(12):241-8.
157. Hankemeier S, Mommsen P, Krettek C, Jagodzinski M, Brand J, Meyer C, et al. Accuracy of high tibial osteotomy: comparison between open- and closed- wedge technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010 Oct;18(10):1328-33.
158. Ruzbarsky JJ, Arner JW, Dornan GJ, Provencher MT, Vidal AF. Tibial slope can be maintained during medial opening-wedge proximal tibial osteotomy with sagittally oriented hinge, posterior plate position and knee hyperextension: a cadaveric study. *Arthroscopy.* 2021 Jul;37(7):2181-8.
159. Konrads C, Ahrend MD, Beyer MR, Stöckle U, Ahmad SS. Supracondylar rotation osteotomy of the femur influences the coronal alignment of the ankle. *J Exp Orthop.* 2021 Apr 20;8(1):32.

